Ueber die

elastische Nachwirkung

beim Federbarometer.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der akademischen Doctorwürde

bei

hochlöblicher philosophischer Facultät zu Marburg

eingereicht von

Carl Reinhertz
aus Xanten.

MARBURG.
C. L. Pfeil'sche Universitäts-Buchdruckerei.
1887.

Ueber die elastische Nachwirkung beim Federbarometer.

Von

C. Reinhertz in Poppelsdorf bei Bonn.

I. Vorbemerkungen.

Ueber den Werth und die Verwendbarkeit der Federbarometer in der Wissenschaft und Technik, über ihre Behandlung und die Bestimmung ihrer Constanten, ist, nachdem die Instrumente mehr und mehr in Gebrauch genommen wurden, eine umfangreiche Literatur entstanden. Während in der ersten Zeit die Urtheile über die Brauchbarkeit der Federbarometer sehr auseinandergingen, und einerseits eben so widersprechende Anforderungen an die Leistungen des Instrumentes gestellt, wie andrerseits Angaben über die erreichbare Genauigkeit gemacht wurden, ist in Folge der bei der vielseitigen praktischen Verwendung der Instrumente gemachten Erfahrungen, demselben nach und nach die ihm gebührende Stellung, nämlich die eines Interpolationsinstrumentes, angewiesen worden.

Die zuverlässigsten auf ausgedehnten Beobachtungsreihen und langjährigen Erfahrungen gegründeten Urtheile geben den Fehler einer Luftdruckbestimmung mittels eines gut construirten, sorgfältig behandelten und geprüften Instrumentes, einer der gebräuchlichen Constructionen (abgesehen vom Bourdon'schen Aneroid), zu 0,1 bis 0,2 mm an. Vogler[1]) leitet aus den Angaben von Bauernfeind, Schoder und Koppe den Fehler einer Höhenbestimmung zu 1,6 m ab. Obwohl nun diese Fehlerangaben eine vielen Anforderungen genügende Genauigkeit darlegen, so wird doch dem Aneroide immerhin noch ein gewisses Misstrauen entgegengebracht, und dieses hat auch seine Berechtigung, solange nicht für jede Ablesung die Innehaltung der angegebenen Fehlergrenzen unzweifelhaft verbürgt ist, und irgendwelche Ursachen die Zuverlässigkeit der Instrumentangaben uncontrolirbar beeinflussen können.

Zur Umwandlung der Ablesung eines Federbarometers in die Angabe, welche ein Quecksilberbarometer, nach Anbringung der erforderlichen Reductionen, an seiner Stelle liefern würde, sind derselben drei Verbesserungen beizufügen:

1. Die „Temperatur-Verbesserung", d. h. die Reduction der mit der Temperatur veränderlichen elastischen Kraft der zu dem Federsystem des Instrumentes verwendeten Metalle, sowie die Reduction der Spannkraft der in der Büchse enthaltenen Luft auf eine Normal-Temperatur,

---

[1]) Vogler, Entwerfen graphischer Tafeln, Seite 144.

2. Die „Theilungs-Verbesserung“, d. h. die Umwandlung der Eintheilung des betreffenden Instrumentes in die Millimetertheilung des Quecksilberbarometers, bezogen auf einen bestimmten Anfangspunkt und
3. die sogenannte „Standverbesserung“ zur Beseitigung des nach Anbringung der ersten beiden Grössen noch bleibenden Unterschiedes.

Unter der Voraussetzung, dass die Temperatur- und Theilungs-Verbesserung bei dem Gebrauche des Instrumentes genau seinen thatsächlichen Eigenschaften entsprächen, würde dasselbe zur Messung von Druckunterschieden, bezw. nach Anbringung der Stand-Verbesserung, des absoluten Luftdruckes anwendbar sein, wenn diese Stand-Verbesserung für die Zeit der Bestimmung eine constante Grösse wäre.

Dies ist aber nicht der Fall, es zeigt sich vielmehr, dass dieselbe einer gewissen Veränderlichkeit unterworfen ist, und zwar sowohl einer dauernden als auch einer vorübergehenden, welche ihren Grund in einer Formänderung der elastischen Federn selbst bezw. in den bei Druckänderungen auftretenden elastischen Nachwirkungen haben.

Zur Ermittlung der Beziehungen dieser Veränderlichkeit sind von verschiedenen Seiten[1]) eine Anzahl zum Theil sehr umfangreicher Beobachtungsreihen und Untersuchungen angestellt worden. Bei denselben wird die in Rede stehende Veränderlichkeit im Wesentlichen als eine Function der Zeit aufgefasst, und es tritt das Bestreben hervor, ohne eine Trennung der beiden angeführten, die Standänderung bedingenden Ursachen, aus den Amplituden der zu Tages-, Monats- und Jahresmitteln vereinigten Standverbesserungen, der bei den natürlichen Luftdruckschwankungen beobachteten Instrumente, nach Analogie des Chronometers, einen „Gang“ des Aneroides abzuleiten. Nur zwei Arbeiten, von Grassi[2]) und Kröber[3]) sind mir bekannt geworden, in denen die allein von der elastischen Nachwirkung herrührenden Standänderungen speciell behandelt sind. Grassi untersucht den Einfluss von Druckänderungen auf den Stand des Aneroides unter der Luftpumpe, und stellt, ohne Rücksicht auf die Zeit, die Grösse der gefundenen Abweichungen („Sprünge“) allein als eine Function des vorhergegangenen Druckunterschiedes dar. Er vereinigt seine Resultate in neun Sätzen, von denen der siebente das Abhängigkeitsverhältniss der Grösse der Abweichung vom Druckunterschied zum Ausdruck bringt; derselbe lautet: „Die Grösse des Sprunges ist verschieden und proportional der Amplitude der vorhergehenden Druckperiode.“

Kröber beobachtet direct die durch Druckänderungen unter der Luftpumpe entstehenden elastischen Nachwirkungen und verfolgt den Verlauf derselben nach Einstellung der Druckänderung bei einzelnen Versuchsreihen. Er kommt jedoch (Seite 331) zu dem Ausspruch: „Die elastische Nachwirkung überschreitet anfangs weit die Grenze des neuen Beharrungszustandes, erreicht einen Culminationspunkt und nähert sich dann allmälig rückwärts laufend dem ersteren wieder.“ Ein solcher Verlauf der elastischen Nachwirkung stimmt aber nicht überein mit den sonstigen durch experimentelle Untersuchungen an verschiedenen elastischen Körpern über dieselbe gefundenen Resultaten. Obwohl nun als Ursache der, bei der Vergleichung von Aneroiden mit dem Quecksilberbarometer bei gewöhnlichem Luftdruck, bei Bergbesteigungen und Luftpumpenversuchen, beobachteten Abweichungen stets die

[1]) Schreiber. Carl's Repertorium. IX. S. 193. — Jelinek. Carl's Repertorium. XIII. S. 54. — Weilenmann. Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft zu Zürich. Bd. 18. Seite 213. — [2]) Grassi. Ricerche sperimentali etc. Roma 1875 und 1877. — [3]) Kröber. Zeitschrift für Vermessungswesen 1881. Seite 305.

elastische Nachwirkung hingestellt wird, so findet sich doch in der Literatur keine specielle Behandlung des Gegenstandes, die einen Aufschluss über das Wesen der fraglichen Veränderlichkeit giebt. Es schien daher einiges Interesse, und als ein Beitrag zu Kenntniss und Ausbildung der für die Wissenschaft und Technik so wichtigen Instrumentgattung einigen Werth zu haben, den Einfluss der elastischen Nachwirkung auf die Angaben eines Federbarometers auf experimentellem Wege zu untersuchen.

Das Federsystem dessen elastische Kraft bei den zur Zeit gebräuchlichen Aneroiden zur Messung der Druckdifferenzen benutzt wird, besteht aus einer nahezu luftleeren Büchse und einer sie spannenden kräftigen Blatt- oder Spiralfeder. Im ersteren Falle, der bei den Instrumenten nach dem System von Naudet und von Goldschmid in Anwendung ist, wirkt die spannende Blattfeder direct auf die Büchse ein und ihre Formänderungen werden entweder mittels eines Zeigerwerkes, mechanisch stark vergrössert, unmittelbar an einer getheilten Scale ablesbar gemacht (Naudet) oder in der Art gemessen, dass das federnde System durch eine Mikrometerschraube mit getheilter Trommel auf eine durch einen festen Index bestimmte Normalstellung zurückgeführt wird (Goldschmid). Im zweiten Falle, bei System Reitz in Anwendung, wirkt die spannende Spiralfeder erst mittelbar durch einen Hebel mit starker Uebersetzung auf die Büchse ein. Der Hebel trägt an seinem freien Ende eine getheilte Scale, die durch ein Mikroskop abgelesen wird. Die Büchse ist zusammengesetzt aus zwei kreisrunden, federhart gewalzten Neusilberwellblechen, die auf einen kräftigen Ring aufgelöthet sind. Der Durchmesser der Büchsen der mittleren und grösseren Aneroide variirt zwischen 5,8 und 7,4 cm; auf den beiden Seitenflächen lastet demnach (ohne Berücksichtigung der inneren Luft) ein Druck von etwa 55 bis 90 kg. Bei dieser Zusammensetzung des Instrumentes muss die Veränderlichkeit der Stand-Verbesserung nothwendigerweise doppelter Art sein:

1. eine langsame, unabhängig von den vorkommenden Druckschwankungen,
2. eine in Folge dieser Druckschwankungen als elastische Nachwirkung auftretende.

Diese letztere haftet dem Federsystem in seiner Eigenschaft als elastischer Körper an; sie muss, soweit sie überhaupt eine Regelmässigkeit zeigt, bei allen Instrumenten von gleicher Bauart einen innerhalb gewisser Grenzen ähnlichen Verlauf nehmen, während die zuerst genannte, langsam mit der Zeit vor sich gehende Aenderung, in Folge der Construction und Zusammensetzung jedem einzelnen Instrumente eigenthümlich sein wird, und nur für jedes einzelne Individuum aus längeren Vergleichungen mit einem Normal-Instrumente ermittelt werden kann.

Die Ursachen, welche eine solche Veränderung hervorrufen, sind verschiedener Art. Bei dem stetig auf der Büchse ruhenden Druck von der angegebenen Grösse, der auf die ganze Fläche der Bleche gleichmässig wirkt, kann eine Deformirung der eingepressten Rinnen nicht ausbleiben, da an den Rändern der starre Ring nicht nachgiebt, und in der Mitte die Zugkraft der starken Spannfeder angreift; die Wellen der Bleche werden sich in Folge dessen etwas abflachen.

Wenn in den Wandungen der Büchse ein Fehler sein sollte, so wird Luft in das Innere eindringen und somit nicht nur den Temperaturcoefficienten beeinflussen, sondern auch stetig zunehmend die Stand-Verbesserung ändern. Ferner wird auch die bei Montirung des Instrumentes durch das Spannen von Feder und

Büchse entstehende elastische Nachwirkung noch sehr lange sich geltend machen, obgleich diese, sowie die beim Eindrücken der Rinnen in die Bleche und bei der sonstigen Zusammensetzung des Instrumentes entstehenden Spannungen, in der Werkstatt in der Regel durch wiederholtes starkes Erhitzen möglichst beseitigt werden.

Diese Veränderlichkeit des Instrumentes (abgesehen von absichtlichen Verstellungen durch Anziehen der Regulirschraube) ist niemals zu vermeiden. Ein Instrument ist aber nur dann unbrauchbar, wenn diese Veränderlichkeit nicht innerhalb so enger Grenzen bleibt, dass sie mit Sicherheit zu ermitteln ist. Die bei der jahrelangen Verwendung von Aneroiden gesammelten Erfahrungen haben ergeben, dass dieselbe für einen Zeitraum von mehreren Jahren bei guten Instrumenten in der Regel unter 1 bis höchstens 2 mm bleibt, so dass also diese Veränderlichkeit des Standes so gering ist, dass sie auf alle Interpolationsmessungen, vor Allem auf Höhenmessungen, ohne jeden Einfluss ist.

Functionirt dagegen ein Federbarometer längere Zeit selbständig, z. B. als Stations-Instrument auf meteorologischen Stationen, so muss eben der Gang dieser Aenderung von Zeit zu Zeit bestimmt werden. Solche Instrumente werden mindestens mehrere Monate lang vorher sorgfältig zu beobachten sein, und wenn die fortschreitende Aenderung von Bedeutung ist, so werden dadurch auch unzweifelhaft die relativen Angaben so unsicher werden, dass das Instrument für den bestimmten Zweck als unbrauchbar erklärt werden muss.

Ganz unabhängig von der bisher besprochenen fortschreitenden Aenderung ist die durch die Druckschwankungen, denen das Instrument ausgesetzt wird, entstehende elastische Nachwirkung.

Nachdem Weber[1]) 1835 zum ersten Mal auf die elastische Nachwirkung aufmerksam machte und nach seinen Versuchen an Coconfäden eine theoretische Erklärung und eine Formel für dieselbe aufstellte, hat vornehmlich Kohlrausch[2]) den Gegenstand weiter verfolgt und entwickelt. Neben den späteren experimentellen Arbeiten, die im Wesentlichen Bestätigungen und Ergänzungen zu den von Kohlrausch gefundenen Resultaten liefern, sind theoretische Untersuchungen über das Wesen der elastischen Nachwirkung angestellt worden; eine allen bisher beobachteten Eigenthümlichkeiten des Vorganges entsprechende Theorie giebt es jedoch noch nicht.

Der Grundsatz der Elasticitätslehre: „Der augenblickliche Gleichgewichtszustand eines Körpers entspricht den augenblicklich auf ihn wirkenden Kräften“, bedarf in Folge der über die elastische Nachwirkung gefundenen Resultate insofern einer Beschränkung, als dieser, durch die in jedem Momente wirkende Kraft bedingte Gleichgewichtszustand zwar eintreten wird, aber nicht sofort in dem Moment der Einwirkung, sondern erst nach Verlauf einer gewissen Zeit.

In gleicher Weise modificirt sich auch der Satz über die Biegungselasticität, auf welcher die Ausnutzung der Federverbindung des Aneroides beruht: „Die Grösse der Biegung ist den biegenden Kräften proportional“, und unter der elastischen Nachwirkung, die bei einer Deformation dieses Federsystems auftritt, ist diejenige Bewegung zu verstehen, die dasselbe in Folge des durch die Formveränderung hervorgerufenen Abstandes seiner kleinsten Theilchen von ihrer, der momentan wirkenden, äusseren Kraft entsprechenden Gleichgewichtslage, auszuführen hat.

Die bei Druckänderungen entstehenden Deformationen der Büchse im Aneroid

---

[1]) Pogg. Ann. 34 und 54. — [2]) Pogg. Ann. 119, 128, 158 und 160.

sind so gering, dass (bei dem doch immerhin complicirten Federsystem) nicht ohne Weiteres zu erwarten ist, dass die in Folge der Nachwirkungen eintretenden Standänderungen eine Regelmässigkeit zeigen oder nicht unter anderen Einwirkungen verschwinden werden. Nach den Angaben von Hartl[1]) und Schwirkus[2]) und nach eigenen an einzelnen der untersuchten Instrumente vorgenommenen Messungen, kann bei den gebräuchlichen Instrumenten die Eigenbewegung der Büchse für 1 mm Quecksilbersäule auf durchschnittlich etwa 0,005 mm angenommen werden, so dass also bei den gewöhnlichen Schwankungen des Luftdruckes bis zu 30 mm nur 0,15 mm Bewegung der Büchse auftritt, bei 100 mm nur 0,5 mm. Wenn nun diese geringen Biegungen Nachwirkungen hervorrufen, die sich durch ein Gesetz darstellen lassen, so darf *a priori* behauptet werden, dass die Messung mit Hilfe der Elasticität einer hohen Genauigkeit und Ausbildung fähig sein muss.

Die beim Aneroid vorkommenden Nachwirkungen sind doppelter Art:

a) solche, die während einer Druckänderung und

b) solche, die nach dem Einstellen derselben auftreten.

Es handelt sich nunmehr darum, auf experimentellem Wege diese Nachwirkungserscheinungen zu verfolgen und festzustellen:

1. ob die beim Federbarometer auftretende elastische Nachwirkung einen regelmässigen und gesetzmässigen Verlauf nimmt,
2. ob dieselbe sich durch eine der für andere elastische Körper als giltig befundenen Formeln darstellen lässt,
3. in welchem Verhältniss die Grösse und die Art ihres Verlaufes „nach“ Einstellung einer Druckänderung zum vorhergehenden Druckunterschied und der Geschwindigkeit der vorgenommenen Druckänderung [Tempo] steht,
4. in welcher Weise die „während“ der Druckänderung sich zeigende Nachwirkung auftritt, und in welchem Verhältniss sie zur Geschwindigkeit der Druckänderung [Tempo] steht,
5. wie eine Temperaturänderung die elastische Nachwirkung beeinflusst,
6. ob und in welchen Fällen eine Correction an den Instrumentangaben möglich, erforderlich bezw. zweckmässig erscheint.

II. Apparate und Beobachtungsmethode.

Die Beobachtungen wurden ausgeführt in der geodätischen Sammlung der landwirthschaftlichen Akademie zu Poppelsdorf mit Benutzung der in derselben befindlichen Instrumente und Vergleichsapparate, wozu der Conservator der Sammlung, Herr Koll, seine Erlaubniss gütigst ertheilte.

Die angestellten Beobachtungen sind Vergleichungen der Federbarometer mit dem Quecksilberbarometer und zwar:

a) bei den gewöhnlichen Druckschwankungen der Atmosphäre im Winter 1885/6 und

b) bei künstlicher Druckänderung im Sommer 1886.

1. Beobachtungen im Winter 1885/86.

Dieselben wurden angestellt, um zu untersuchen, in wie weit die elastische Nachwirkung sich bei den gewöhnlichen Luftdruckschwankungen geltend macht,

[1]) Hartl: Praktische Anleitung zum Höhenmessen. Seite 41. — [2]) Schwirkus: Zeitschrift für Instrumentenkunde 1883. Seite 89.

und ob dieselbe von der fortschreitenden Aenderung und anderen Einflüssen zu trennen sei.

Das zu allen Vergleichen benutzte Quecksilberbarometer ist ein Normalbarometer[1]) No. 182 von Fuess (Berlin), Gefässheber mit 15 mm weiter Röhre und 0,05 mm Nonienangabe. Das Instrument hängt in einem für dasselbe gebauten Schrank, der es vor Staub und Beschädigung schützen soll. An der inneren Wand des Kastens sind Papierstreifen befestigt, auf welche sich die Kuppen äusserst scharf projiciren und stets sehr sichere Einstellungen ergeben. In gleichen Abständen über und unter dem inneren Thermometer sind an der Wand des Kastens in mit Quecksilber gefüllten Röhren, von derselben Weite, wie sie das Instrument in der betreffenden Höhe hat, Thermometer angebracht, die die Angabe des Instrumentthermometers controliren sollen. Während der Beobachtungszeit wurde das Instrument mehrmals auf sein Vacuum hin geprüft; dasselbe fand sich stets unverändert. Aus mehreren Beobachtungsreihen ergab sich der mittlere Fehler einer Ablesung zu 0,02 mm.

Die untersuchten Federbarometer sind:

Zwei Instrumente von Naudet, ohne Nummer, 11 cm Scalendurchmesser, 1880 angekauft, beide nicht gegen Temperatur compensirt.

Zwei Nivellir-Barometer nach Goldschmid von Hottinger (Zürich) No. 3307 und 3313, 1881 angekauft.

Zwei Instrumente von Bohne, (Berlin) No. 492 und 538, 1883 angekauft, 11 cm Scalendurchmesser, beide gegen Temperatur durch Zusammensetzung des von der Feder ausgehenden starren Armes compensirt[2]). Ein Instrument, System Reitz, von Deutschbein (Hamburg) No. 39, 1883 angekauft. Die Barometer sollen in Folgendem der Reihe nach bezeichnet werden mit: *N. 3.* und *N. 4.*, *G. 5.* und *G. 6.*, *B. 7.* und *B. 8.*, *R. 9.*

Die Instrumente standen auf einem Tisch neben dem Normalbarometer mit ihren zugehörigen Etuis in eigens für die Prüfung derselben angefertigten Kästen, so dass dieselben nach Möglichkeit gegen Temperaturwechsel geschützt waren, und die unvermeidlichen Schwankungen nur langsam eintreten konnten, also auch die inneren Thermometer die thatsächlich eintretenden Temperaturdifferenzen angegeben haben müssen. Die Ausführung der Vergleichungen geschah in der Weise, dass zuerst das Normalbarometer abgelesen wurde, sodann der Reihe nach die einzelnen Instrumente und schliesslich wieder das Normalbarometer; die den einzelnen Instrumenten entsprechenden Angaben des Normalbarometers wurden zwischen die Anfangs- und Schluss-Ablesung der Zeit nach interpolirt.

2. Beobachtungen bei künstlicher Druckänderung.

Dieselben wurden angestellt, um das Abhängigkeitsverhältniss der auftretenden Nachwirkungen vom Druckunterschied und der Geschwindigkeit der Druckänderung zu ermitteln. Es wurden vier Instrumente untersucht und zwar: *N. 3.*, *B. 8.*, *G. 5.* und *R. 9.*, so dass zugleich Instrumente verschiedener Construction verglichen werden konnten, insofern es überhaupt möglich ist, von einem Exemplar auf andere zu schliessen. Die Instrumente *N. 3.* und *B. 8.* bezw. *G. 5.* und *R. 9.* standen mit ihren Etuis in zwei für den vorliegenden Zweck construirten, luftdicht durch eine Glas-

[1]) Bericht über die wissensch. Instrumente auf der Berliner Gewerbe-Ausst. 1879 Seite 221. — [2]) Ebendaselbst S. 122.

platte verschlossenen, flachen Metallkästen zusammen. Die beiden Zeigerinstrumente wurden durch die Glasplatte abgelesen. Um den Kopf der Schraube des Goldschmid'schen Instrumentes wurde ein Ring mit zwei diametral gegenüberstehenden Ansätzen geschraubt, welche von einer, durch eine in der Glasplatte angebrachte Stopfbüchse gehenden, mit Handhabe versehenen, Führung gefasst wurden. Die Ablesung geschah durch ein in der Kastenwand angebrachtes Fenster aus geschliffenem Glase mittels einer an einem Arm verschiebbar angebrachten Lupe. Ein der Ablesungsvorrichtung gegenüber an der inneren Kastenwand befestigtes Blatt Zeichenpapier lieferte ein vorzügliches, stets gleichmässiges, mattes Licht, so dass die Coincidenz der Fühlhebelmarken sehr scharf zu beobachten war. Für die Ablesung des Reitz'schen Instrumentes waren gegenüberliegend in der vorderen und hinteren Kastenwand zwei Fenster derart angebracht, dass die optische Axe des Mikroskopes des in den Kasten hineingestellten Instrumentes in die Verbindungslinie dieser beiden Fenster fiel. Die Beleuchtung der Scale geschah durch die Lichtöffnung in der hinteren Kastenwand mittels eines mit Zeichenpapier beklebten Brettchens, das in einem Rahmen um zwei Axen wie ein Heliotropenspiegel beweglich angebracht war, so dass das von einem Fenster auffallende Licht durch Drehung der Papierfläche auf die Beleuchtungslinse im Inneren des Instrumentes geworfen werden konnte. Das damit erhaltene matte Licht ermöglichte sehr sichere Ablesungen.

Die besprochenen Metallbehälter standen in mit Tuch ausgeschlagenen Holzkästen, so dass Temperaturwechsel im Zimmer nicht direct auf die Metallflächen und damit auf die Temperatur im Inneren der Kästen einwirken konnten. Beide Behälter waren durch Hahnen verschliessbar und standen durch Schlauchverbindungen gleichzeitig mit dem neben dem Arbeitstisch in seinem Kasten hängenden Normalbarometer und einem Regulator in Verbindung. Um die bei längerem Arbeiten vor dem Normalbarometer durch die Körperwärme entstehende Temperaturerhöhung möglichst zu vermeiden, oder doch wenigstens ihr Einwirken gleichmässig zu machen, wurde das Instrument mit einer mehrfachen dicken Lage von Papier und Tuch umhüllt; am Nonienschieber war, um die in der Ablesungshöhe noch freibleibende Quecksilbersäule beim Einstellen vor Erwärmung durch den Athem zu schützen, ein Schirm angebracht, und das Thermometer wurde vor und nach jeder Einstellung durch eine in der Umhüllung befindliche Klappe abgelesen. So gelang es, die Temperaturschwankung des Instrumentes in ziemlich engen Grenzen zu halten.

Die Druckänderungen wurden durch Verdünnen und Verdichten der Luft in einem Schwefelsäureballon hervorgerufen, die Verdünnungen mittels einer Bunsen'schen Wasserluftpumpe. Dieselbe ist nach den Angaben von Schreiber[1]) in einfacher Weise aus Glasröhren und Gummischläuchen zusammengesetzt; das Bassin wird durch die Wasserleitung gespeist. Der Ballon stand mit einem Quecksilbermanometer und einem Regulator derart in Verbindung, dass die Spannungsänderungen der in dem Ballon eingeschlossenen Luft nur durch diesen Regulator auf die in den Kästen befindlichen Instrumente einwirken konnten, und die Grösse der Spannung durch das Manometer angegeben wurde. Der zu dem vorliegenden Zweck construirte Regulator bestand aus einem luftdicht schliessenden Messingcylinder von 4,5 cm Länge und 2,5 cm Durchmesser, der an einer Kopffläche und seinem Mantel mit je einem Hahn versehen war. Der Zutritt der Luft von dem an der Vorder-

[1]) Schreiber, Handbuch der barom. Höhenmessungen. Seite 171.

fläche liegenden Hahn aus (der in Verbindung mit dem Ballon und dem Manometer stand), zu dem Inneren des Cylinders und dadurch mittels des seitlichen Hahnes zu den Instrumenten wurde vermittelt durch eine Schraube mit conischem Gewinde, welche durch die gegenüberliegende Schlussfläche des Cylinders hindurchgehend einen randirten Knopf und eine mit Theilung versehene Trommel trug. Durch entsprechende Regulirung des im Ballon erzeugten Ueberdruckes, der durch das Manometer angegeben wurde, sowie durch an der Theilung der Trommel abzulesende Bewegungen der Schraube wurde es möglich, jede beliebige Druckänderung mit Sicherheit herzustellen, indem der Ueberdruck sich durch das Schraubengewinde hindurchsaugend, den Untersuchungskästen mittheilte.

3. Anordnung und Ausführung der Beobachtungen.

Um die Abhängigkeit der Nachwirkungserscheinungen vom Druckunterschied und der Schnelligkeit der Druckänderung zu ermitteln, wurden die Beobachtungen derart angeordnet, dass einmal die Nachwirkungsgrössen verglichen werden konnten bei constanter Geschwindigkeit der Druckänderung und verschiedenen Druckunterschieden, und das andere Mal bei constantem Druckunterschied und verschiedener Geschwindigkeit der Druckänderung, und zwar wurden vier verschiedene Druckunterschiede mit je vier verschiedenen Geschwindigkeiten beobachtet, so dass die Function viermal durch je vier Punkte bestimmt werden konnte. Für die Druckunterschiede wurden 20, 40, 70 und 100 mm, und für die Geschwindigkeiten der Druckänderung (Tempo) 0,2, 0,5, 1,0 und 2,0 mm pro Minute durchlaufenes Intervall gewählt. Für die Wahl dieser Grössen war bestimmend, sowohl eine entsprechende Vertheilung innerhalb der untersuchten Intervalle zu erzielen, als auch den in der Praxis eintretenden Verhältnissen möglichst Rechnung zu tragen. Der Gang der Beobachtungen war der folgende:

Nachdem die Instrumente mindestens einen Tag unter constantem Druck gehalten worden waren, wurde zunächst der durch vorher angestellte Versuche bestimmte Ueberdruck im Ballon hergestellt, und beim Aussaugen der Luft die Pumpe auf eine in gleicher Weise ermittelte Geschwindigkeit gestellt, beim Zulassen der Luft ein den Ballon abschliessender, unter Wasserverschluss stehender Stopfen entsprechend gelüftet; dabei waren die Kästen durch den am Regulator befindlichen Hahn vom Ballon abgeschlossen. Sodann wurden die Instrumente abgelesen, und die Ablesung des Normalbarometers auf einen mit einem engen Quadratnetz bedruckten Bogen Schreibpapier, auf dem ein nach den Barometerständen als Abscissen und den Zeiten als Ordinaten eingetheiltes Coordinatensystem aufgetragen war, eingezeichnet. Der somit erhaltene Punkt wurde mit dem Punkt, der bei dem jeweiligen Tempo und Intervall nach Abschluss der Druckänderung erreicht werden musste, durch eine gerade Linie verbunden, und damit der Weg, den die Ablesungen durchlaufen mussten, vorgezeichnet. Um die Notirung der Zeiten zu erleichtern und Fehler zu vermeiden, wurde sodann bis zu einer runden Minutenzahl (5 oder 10 Minuten) gewartet, und nachdem die getheilte Trommel des Regulators auf die ermittelte Ablesung eingestellt war, der Hahn geöffnet. Während der Druckänderung wurde von Zeit zu Zeit das Barometer abgelesen, der damit erhaltene Punkt auf dem Bogen verzeichnet, und danach je nach Erforderlichkeit eine Unregelmässigkeit der Geschwindigkeit durch kleine Verstellungen des Regulators beseitigt. In dieser Weise gelang es, das vorgeschriebene Tempo soweit

innezuhalten, dass Abweichungen der Ablesungen von der vorgezeichneten Linie über 1 mm selten vorkamen. Während der Druckänderung wurden die Instrumente alle Paar Minuten durch Klopfen auf die Deckel leise erschüttert. Um möglichst gleich bei Abschluss der Druckänderung eine Ablesung zu erhalten, wurde kurz vorher die Beobachtung vorbereitet, die Kuppen des Normalbarometers nahe der zu erreichenden Ablesung eingestellt und die Schraube des Goldschmid'schen Instrumentes dicht an den Fühlhebel gebracht. In dem bestimmten Zeitmoment (der wie vorher bemerkt immer auf eine volle Minutenzahl fiel) wurde der Hahn abgeschlossen und sofort die Ablesung begonnen, indem zuerst das Normalbarometer, sodann der Reihe nach die Aneroide und zum Schluss wieder das Normalbarometer abgelesen wurde. Diese Vergleichungen wurden, wie die später mitzutheilenden Beobachtungsreihen ergeben, in den ersten zehn Minuten mehrfach, später alle 5, 10 bezw. 20 Minuten ausgeführt. Nach drei bis vier Stunden wurde nur noch von Zeit zu Zeit abgelesen, und an den folgenden Tagen noch mehrere Einstellungen vorgenommen, die zur Ermittlung der zu erreichenden Ruhelage dienen sollten. In den ersten Stunden einer solchen Beobachtungsreihe wurden die Kuppen des Normalbarometers immer nahe ihrer Einstellung gehalten und das Instrument durch leises Klopfen an die Umhüllung erschüttert, da es sich zeigte, dass die Kuppen dabei ihre relative Höhe weniger änderten als bei jedesmaligem, vollständigem Zurückschrauben, und es in dem vorliegenden Falle besonders auf möglichst scharfe Ermittlung der sehr geringen Druckdifferenzen der ersten Beobachtungsstunden ankam. Die trotz der sorgfältigen Verhüllung sich der inneren Luft der Kästen mittheilenden Temperaturschwankungen im Zimmer veranlassten stets kleine Verstellungen des Regulators, um die Spannung der eingeschlossenen Luftmasse constant zu erhalten. Die Temperatur der Aneroide selbst änderte sich in den ersten Stunden immer nur um wenige Zehntel-Grade. Ueber Nacht waren jedoch Temperatur- und Druckänderungen nicht ganz zu vermeiden; durch die sorgfältige Umhüllung der Instrumente, sowie durch geeignete Stellungen des Regulators und des Ueberdruckes konnten diese Schwankungen aber nur allmälig sich den Instrumenten mittheilen. —

Die Vergleichungen der Instrumente mit dem Normalbarometer während der Druckänderung geschahen in der gewöhnlichen, bei Bestimmung der Theilungs-Verbesserung üblichen Weise. Es wurde jedoch nur immer eine, höchstens zwei Instrument-Ablesungen, zwischen je zwei Normalbarometereinstellungen interpolirt. Bei den schnelleren Aenderungen von 1,0 und 2,0 mm pro Minute war eine genügend sichere Bestimmung bei Einstellung beider Kuppen nicht zu erzielen, es wurde daher gleich bei Beginn eine Einstellung mit beiden Kuppen gemacht, sodann die Hebeschraube unverändert in ihrer Lage gelassen und nur am oberen Schenkel abgelesen in der Weise, dass der Nonienschieber auf eine passende Stelle eingestellt und der Moment, in dem die Kuppe die Visirlinie erreichte, notirt wurde, sodann das Aneroid abgelesen, der Schieber verstellt, wieder der Moment der Berührung notirt, der Nonius abgelesen und hiernach der entsprechende Barometerstand der Zeit nach interpolirt wurde. Nach Abschluss der Druckänderung wurden beide Kuppen eingestellt, dadurch ein etwaiges Nachgeben des Lederbeutels im Gefäss festgestellt und die Differenz vertheilt. Nach einiger Uebung gelang es, in dieser Weise genügend sichere Ablesungen zu erhalten, für die Ermittlung von Theilungs-Verbesserungen sind jedoch diese Geschwindigkeiten für die Druckänderung nicht zu verwenden.

Die Vergleichungen während der Druckänderung wurden in der Regel nur bei dem Intervall 100 mm ausgeführt. Die Beobachtungsreihen für die Nachwirkung nach der Druckänderung wurden für jede einzelne der 16 verschiedenen Gruppen mehrere Male, mindestens aber einmal bei Druck-Zunahme und Abnahme angestellt. Es erübrigt noch zu erwähnen, dass bei dem Instrument Reitz, da seine Theilung nur bis 710 mm Quecksilbersäule geht, auch nur ein Theil der Reihen ausführbar war.

III. Ergebnisse der Beobachtungen.

4. Das Auftreten der elastischen Nachwirkung bei den gewöhnlichen Luftdruckschwankungen.

Die für die einzelnen Instrumente giltigen Temperatur- und Theilungs-Verbesserungen wurden, obwohl dieselben aus früheren Ermittlungen bekannt waren, für den vorliegenden Zweck auf's Neue bestimmt. Die Herstellung der Temperaturunterschiede geschah im Winter durch Benutzung der Zimmerwärme und der gerade stattfindenden Lufttemperatur im Freien durch Oeffnen der Fenster. So wurden die Instrumente Temperaturunterschieden von 3 bis 25° C. ausgesetzt, die bei der sorgfältigen Verhüllung nur allmälig eintreten konnten. Zur Elimination der geringen während der Vergleichungen vorkommenden Druckschwankungen wurden die früher ermittelten Theilungs-Coefficienten verwendet. Die Bestimmung der Temperatur-Correction geschah auf graphischem Wege und die so erhaltenen Werthe wurden zur Reduction aller in dem Folgenden mitgetheilten Beobachtungen benutzt.

Die Theilungs-Verbesserung wurde nach Anbringung dieser so bestimmten Temperatur-Correction aus geeigneten Gruppen der im Abschnitt 1 besprochenen Beobachtungen ebenfalls auf graphischem Wege abgeleitet in der Weise (vergl. Abschnitt 12), dass die in Folge der elastischen Nachwirkung eintretenden Abweichungen ohne Einfluss blieben.

Nach Anbringung dieser Verbesserungen an den Federbarometerständen und nach Reduction des Normalbarometers auf 0° C. wurden, um die Abhängigkeit der Standverbesserung von dem Druckunterschied und der Zeitdauer verfolgen zu können, die Differenzen „red. Normalbarometer — red. Federbarometer“ als Ordinaten zu den Zeiten als Abscissen aufgetragen. Die Curven zeigten Wellen, deren Beziehung zum Barometerstande sofort in die Augen fiel. Weit übersichtlicher trat jedoch diese Abhängigkeit hervor, wenn jene Differenzen zu den Barometerständen als Abscissen aufgetragen wurden. Der Einfluss der elastischen Nachwirkung war überall zu erkennen; nach dem Aufhören einer Druckänderung und besonders nach einem Wendepunkte zeigten sich in gleicher Weise wie bei stärkeren Druckintervallen unter der Luftpumpe die Abweichungen in dem erwarteten Sinne. Ein Verhältniss der beobachteten „Sprünge“ zu den sie hervorrufenden Druckintervallen war nur insofern festzustellen, als grösseren Intervallen auch grössere Aenderungen der Standcorrection entsprachen, da die kleineren Nachwirkungen theils unter anderen Einflüssen (Temperatur) und den Beobachtungsfehlern verschwanden. Ein Abweichen im entgegengesetzten Sinne der der Nachwirkung entsprechenden Aenderung kam nach grösseren Intervallen überhaupt nicht vor.

Die folgenden Tabellen I. und II. geben auszugsweise den Verlauf der Stand-Verbesserung für zwei verschiedene, mehrere Tage andauernde Druckänderungen im Februar bezw. März 1886 bei je vier Instrumenten an. Die Figuren 1 und 2 liefern eine graphische Darstellung dieser Tabellen.

Tabelle I.

Zeit. Datum.	Stunde.	Mittlere Temperatur.	B_n^0 mm	$B_n^0 - F_n^0$ N. 3.	G. 5.	B. 7.	R. 9.
1886.				+	—	—	+
Febr. 1	9^h 5^m	10,0	738,93	0,62	3,46	1,20	0,89
2	9 40	11,0	745,22	0,67	3,49	1,12	0,90
4	9 45	11,0	755,35	0,54	3,65	1,10	0,99
7	11 35	10,0	767,10	0,57	3,41	1,04	1,05
8	9 35	8,0	774,87	0,61	3,66	1,16	0,98
9	9 45	9,0	774,44	0,31	3,84	1,41	0,72
9	11 55	12,0	773,58	0,20	3,95	1,32	0,94
10	3 30	13,0	763,43	0,25	3,60	1,17	0,64
11	10 40	12,0	758,49	0,26	3,69	1,17	0,58

Tabelle II.

Zeit. Datum.	Stunde.	Mittlere Temperatur.	B_n^0 mm	$B_n^0 - F_n^0$ N. 4.	G. 6.	B. 8.	R. 9.
1886.				—	—	—	+
März 6	11^h 40^m	13,0	743,54	0,88	2,31	3,46	0,79
8	9 40	8,0	764,54	0,76	2,38	3,42	0,81
9	12 00	9,0	768,48	0,75	2,50	3,56	0,83
10	10 55	9,0	765,92	0,94	2,61	3,55	0,63
11	12 45	10,0	765,55	1,11	2,58	3,71	0,44
12	12 25	10,0	762,84	1,18	2,73	3,81	0,39
13	12 20	11,0	764,38	0,94	2,56	3,61	0,16
14	4 35	9,0	757,81	1,11	2,44	3,73	0,33
15	12 05	10,0	752,15	1,33	2,44	3,68	0,19
16	12 05	10,0	751,23	1,17	2,45	3,64	0,42
17	9 50	10,0	754,38	1,10	2,45	3,73	0,38
17	11 50	12,0	754,36	1,07	2,45	3,66	0,50

Es ist noch zu erwähnen, dass für das Instrument Reitz, um eine Verglei-

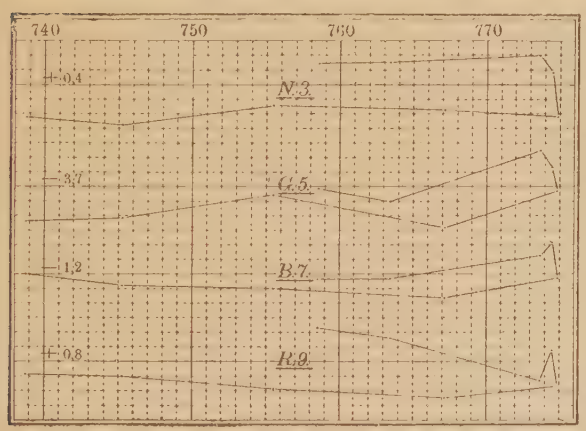

Fig. 1.

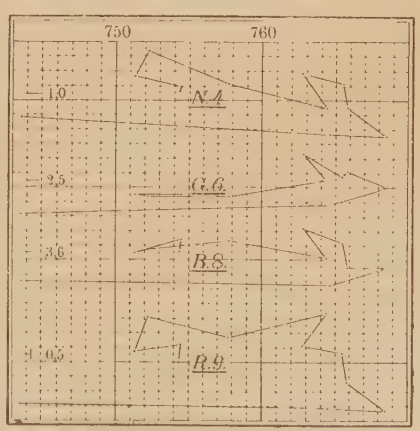

Fig. 2.

chung zu ermöglichen, nach Ermittlung des Werthes der Scaleneinheit alle directen Ablesungen in Millimeter zu verwandeln waren.

5. Die Nachwirkung bei künstlicher Druckänderung nach dem Aufhören derselben.

Bei Berechnung der nach den Ausführungen von Abschnitt 3 für die 16 Beobachtungsgruppen erhaltenen Reihen wurde zunächst den Aneroidenangaben die (in Abschnitt 4 besprochene) Temperatur-Verbesserung beigelegt. Die Correctionen blieben bei den nur sehr geringen Temperaturschwankungen der ersten Stunden fast constant, so dass eine Verschiedenheit der Verbesserungen für die niederen Barometerstände gegenüber den zwischen 740 und 760 mm Barometerstand ermittelten, ohne jeden Einfluss sein musste.

Nach Ausführung der Reduction auf 0° C. wurden unter Berücksichtigung der an der betreffenden Stelle der Scale giltigen Theilungs-Verbesserung diejenigen Federbarometerstände: red. F_n^0 abgeleitet, welche die Instrumente gezeigt haben würden, wenn das (auf 0° C. reducirte) Normalbarometer für die ganze Dauer der Reihe einen entsprechend gewählten, unveränderlichen Stand B_c gehabt hätte.

Die Ausführung dieser Reduction gestaltete sich, wie aus dem sogleich mitzutheilenden Beispiel ersichtlich ist, sehr einfach, da die Differenz d_n der Angaben des Normalbarometers B_n^0 gegen den gewählten Stand B_c immer innerhalb sehr enger Grenzen blieb, und die für jedes Instrument giltigen Reductionswerthe: red. d_n aus zu dem Zweck für Zehntelmillimeter berechneten Verwandlungstäfelchen sofort zu entnehmen waren.

Zur Darlegung des Rechnungsverfahrens möge das nebenstehende Beispiel dienen. Hierin enthält Spalte 1 die Beobachtungszeiten; 2 die Zeit in Minuten, die seit Schluss der Druckänderung verflossen ist; 3 und 4 die Ablesungen am Normalbarometer für Temperatur und Barometerstand vor und nach der Ablesung der Aneroide; 6 die mit der Verbesserung der Spalte 5 auf 0° C. reducirten Normalbarometerstände B_n^0; Spalte 7 die Differenzen $d_n = B_c - B_n^0$ gegen den Stand $B_c =$ 652,00 mm; Spalte 8 und 9 die Ablesungen am Federbarometer und dessen Thermometer; 11 die mit der Correction von Spalte 10 auf 0° C. reducirten Ablesungen F_n^0; Spalte 12 die mit der bei 650 mm für *B. 8.* giltigen Theilungs-Verbesserung verwandelten Differenzen red. d_n (die hier wegen ihrer geringen Grösse unverändert bleiben); und endlich Spalte 13 die, dem constanten Normalbarometerstand B_c=652,00 mm entsprechenden Aneroidstände red. F_n^0.

Die Ablesungen am Normalbarometer vor und nach der Notirung der Aneroide wurde gemittelt, wenn ihre Differenz unter 0,05 mm blieb; wenn dieselbe aber 0,05 mm und mehr betrug, oder sich eine stetige Aenderung zeigte, so wurden die den einzelnen Instrumenten entsprechenden Normalbarometerstände der Zeit nach interpolirt, wie bei $t_n = 2$ Min. in dem folgenden Beispiel. Da in dem vorliegenden Fall zur Zeit $t_n = 0$ Min. noch keine Ablesung genommen werden konnte, so wurde dieselbe aus einer graphischen Darstellung der Werthe red. F_n^0 als Ordinaten zu den Zeiten als Abscissen rückwärts ermittelt.

Die für red. F_n^0 gefundenen Werthe wurden, um eine übersichtlichere Vergleichung zu ermöglichen, auf den für den Moment der Druckeinstellung, $t_n = 0$, erhaltenen Werth als Nullpunkt reducirt, und sodann die so gefundenen Grössen y_n auf Millimeterpapier als Ordinaten zu den Zeiten als Abscissen aufgetragen. In den Fällen, in denen die erste Ablesung nicht sofort bei der Druckeinstellung zu nehmen war, wurde in der soeben besprochenen Weise verfahren und der gefundene Werth für red. F_n^0 in den später folgenden Tabellen durch Klammern kenntlich gemacht.

Die Curven zeigten mit Ausnahme einzelner Fälle, in denen Druckschwankungen während der Beobachtung nicht zu vermeiden gewesen waren, einen sehr regelmässigen Verlauf, besonders auffallend bei stärkeren Nachwirkungen. Die Abhängigkeit der y_n vom entsprechenden Druckintervall und dem Tempo trat sofort hervor, sowie auch die Verschiedenheit des Verhaltens der einzelnen Instrumente. Das Instrument *G. 5.* zeigte weitaus die kleinsten Nachwirkungen, sodann *R. 9.*, und endlich *N. 3.* und *B. 8.* zwar grössere, aber unter sich gleiche und regelmässiger verlaufende Nachwirkungen.

Reductionsbeispiel.

Instrument: *B. 8.* Tempo: 2,0 mm. Druckunterschied: $\Delta F = -100$ mm.

Zeit.	t_n Min.	Temp. des Norm.-B. $C.^\circ$	B_n	Temp.-Verbess.	B_n^0	$d_n = B_c - B_n^0$	Temp. des Federbar.	F_n	Temp.-Verbesser.	F_n^0	Red. d_n	Red. F_n^0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Juni 17			vor		$B_c =$							
11h 50m	0		nach		**652,00**							[654,05]
52	2	18,1	$653,\frac{40}{50}$	+ 1,92	651,53	+ 0,47	17,6	653,30	+ 0,18	653,48	+ 0,47	653,95
55	5	18,2	$\frac{60}{65}$	1,93	70	30	17,6	3,35	18	3,53	30	3,83
12 00	10	18,2	$\frac{80}{82}$	1,94	87	13	17,7	3,40	18	3,58	13	3,71
05	15	18,2	$\frac{60}{55}$	1,94	63	37	17,7	3,05	18	3,23	37	3,60
10	20	18,2	$\frac{48}{50}$	1,94	55	45	17,7	2,90	18	3,08	45	3,53
20	30	18,1	$\frac{47}{52}$	1,93	57	43	17,7	2,80	18	2,98	43	3,41
30	40	18,1	$\frac{62}{65}$	1,93	70	30	17,7	2,85	18	3,03	30	3,33
40	50	18,0	$\frac{55}{55}$	1,91	64	36	17,8	2,70	18	2,88	36	3,24
50	60	18,0	$\frac{52}{55}$	1,91	63	37	17,8	2,62	18	2,80	37	3,17
1 00	70	18,0	$\frac{60}{60}$	1,91	69	31	17,9	2,65	18	2,83	31	3,14
10	80	18,0	$\frac{60}{60}$	1,91	69	31	17,9	2,60	18	2,78	31	3,09
55	125	17,8	$\frac{35}{42}$	1,90	48	52	18,0	2,40	18	2,58	52	3,10
2 10	140	17,9	$\frac{48}{50}$	1,91	58	42	18,0	2,42	18	2,60	42	3,02
30	160	18,0	$\frac{65}{70}$	1,91	76	24	18,0	2,52	18	2,70	24	2,94

Die Ruhelagen, denen die Instrumente in den einzelnen Fällen zustrebten, wurden aus dem mehrere Tage, mindestens einen Tag lang beobachteten Verlauf der Nachwirkung nach den die Werthe y_n darstellenden Curven abgeleitet. Obwohl nun die Annäherung an diese Ruhelage nicht schon nach einigen Tagen vor sich geht, vielmehr Wochen und Monate zur vollständigen Erreichung derselben erforderlich wären, so ist dieselbe doch nach ein bis zwei Tagen schon so nahe erreicht, dass aus den Curven auf den Endpunkt der Bewegung mit einiger Sicherheit geschlossen

werden kann. Die auf diese Weise abgeleiteten Werthe X_0 für die Abstände von der Ruhelage zur Zeit $t_n = 0$ zeigten für die verschiedenen Reihen derselben Gruppe eine sehr gute Uebereinstimmung.

Eine gewisse Willkür ist dieser Bestimmung nicht abzusprechen, sie liegt in der Natur der Sache begründet. Eine genauere Ermittlung durch Ausdehnung

Tabelle III.

Tempo: **2,0 mm.** $\Delta F = 20$ **mm.**

t_n	B_n^0	Mittlere Temperat.	*B. 8.* red. F_n^0	*B. 8.* y_n	*G. 5.* red. F_n^0	*G. 5.* y_n
0	732,80	16,2	735,28	0,00	736,82	0,00
5	2,85	„	5,21	07	—	—
10	2,79	„	5,12	16	75	07
15	2,74	„	5,12	16	72	10
20	2,80	„	5,11	17	75	07
25	2,92	„	5,04	24	73	09
30	3,00	„	5,06	22	77	05
40	3,10	„	5,01	27	71	11
50	2,97	„	5,04	24	77	05
65	2,85	16,3	5,03	25	75	07
80	2,67	„	5,04	24	—	—
90	2,60	„	5,06	22	73	09
100	2,54	„	5,10	18	74	08
110	2,46	„	5,10	18	72	10
120	2,35	„	5,06	22	74	08
130	2,37	„	4,99	29	76	06
140	2,39	„	4,97	31	76	06
		$X_0 =$		0,45		0,10

Tabelle IV.

Tempo: **2,0 mm.** $\Delta F = 40$ **mm.**

t_n	B_n^0	Mittlere Temperat.	*B. 8.* red. F_n^0	*B. 8.* y_n	*G. 5.* red. F_n^0	*G. 5.* y_n
0	738,18	20,7	740,53	0,00	742,40	0,00
5	8,16	„	0,65	12	44	04
10	8,16	„	0,70	17	—	—
15	8,19	„	0,74	21	48	08
30	8,27	„	0,89	36	48	08
40	8,32	„	0,89	36	49	09
50	8,40	„	0,83	30	49	09
60	8,43	20,8	0,87	34	43	03
70	8,38	„	0,94	41	50	10
80	8,34	„	0,93	40	52	12
90	8,33	„	0,89	36	54	14
100	8,28	„	0,94	41	53	13
120	8,20	„	1,00	47	51	11
140	8,05	21,0	1,07	54	53	13
160	7,98	„	1,05	52	—	—
		$X_0 =$		0,70		0,16

Tabelle V.

Tempo: **2,0 mm.** $\Delta F = 70$ **mm.**

t_n	B_n^0	Mittlere Temperat.	*B. 8.* red. F_n^0	*B. 8.* y_n	*G. 5.* red. F_n^0	*G. 5.* y_n
0	659,61	15,4	661,50	0,00	665,93	0,00
2	59,84	„	1,36	14	—	—
5	59,97	„	1,23	27	77	16
10	60,06	15,5	1,14	36	77	16
15	60,10	„	1,10	40	80	13
20	60,14	„	1,06	44	77	16
30	60,16	„	1,01	49	75	18
40	60,17	„	0,98	52	74	19
50	60,05	„	1,00	50	66	27
60	60,00	„	1,00	50	71	22
70	60,32	15,6	0,85	65	69	24
80	60,28	„	0,82	68	67	26
90	60,23	„	0,87	63	67	26
100	60,08	„	0,82	68	64	29
120	59,77	„	0,78	72	61	32
140	59,67	15,7	0,73	77	61	32
160	59,70	„	0,70	80	66	27
		$X_0 =$		1,40		0,35

Tabelle VI.

Tempo: **2,0 mm.** $\Delta F = 100$ **mm.**

t_n	B_n^0	Mittlere Temperat.	*B. 8.* red. F_n^0	*B. 8.* y_n	*G. 5.* red. F_n^0	*G. 5.* y_n
0	651,—	—	[654,05]	0,00	[657,85]	0,00
2	53	17,9	653,95	0,10	657,75	10
5	70	„	3,83	0,22	76	09
10	87	18,0	3,71	0,34	74	11
15	63	„	3,60	0,45	66	19
20	55	„	3,53	0,52	63	22
30	57	18,1	3,41	0,64	59	26
40	70	„	3,33	0,72	58	27
50	64	„	3,24	0,81	61	24
60	63	„	3,17	0,88	61	24
70	69	18,2	3,14	0,91	59	26
80	69	„	3,09	0,96	57	28
125	48	18,4	3,10	0,95	61	24
140	58	„	3,02	1,03	58	27
160	76	„	2,94	1,11	63	27
		$X_0 =$		1,80		0,40

der Beobachtung auf einen längeren Zeitraum zu erzielen, würde wenig Werth haben, da einerseits der nach ein bis zwei Tagen noch bleibende Abstand und die Geschwindigkeit der Annäherung an die Ruhelage so klein sind, dass die diesen entsprechende Nachwirkungsbewegung unter anderen Einflüssen verschwinden wird, und andrerseits in Folge von Druckschwankungen und Temperatureinwirkungen

Tabelle VII.

Tempo: **1,0 mm.** $\Delta F = 100$ **mm.**

t_n	B_n^0	Mittlere Temperat.	*B. 8.* red. F_n^0	*B. 8.* y_n	*G. 5.* red. F_n^0	*G. 5.* y_n
0	660,20	17,6	663,22	0,00	667,22	0,00
5	48	„	3,02	20	7,15	07
8	54	„	3,04	18	7,10	12
10	57	17,7	3,01	21	7,14	08
15	52	„	2,96	26	7,04	18
20	45	„	2,92	30	7,03	19
25	57	„	2,83	39	6,97	25
30	61	„	2,79	43	7,03	19
35	67	17,9	2,76	46	7,03	19
40	67	„	2,76	46	7,02	20
45	59	„	2,74	48	7,07	15
50	59	„	2,74	48	6,97	25
60	68	18,0	2,60	62	6,97	25
70	68	„	2,60	62	6,94	28
80	70	„	2,58	64	6,98	24
90	77	18,2	2,51	71	6,99	23
100	79	„	2,54	68	7,03	19
125	87	„	2,41	81	6,93	29
150	87	„	2,41	81	6,90	32
		$X_0 =$		1,50		0,35

Tabelle VIII.

Tempo: **0,5 mm.** $\Delta F = 100$ **mm.**

t_n	B_n^0	Mittlere Temperat.	*B. 8.* red. F_n^0	*B. 8.* y_n	*G. 5.* red. F_n^0	*G. 5.* y_n
0			[657,05]	0,00	[660,52]	0,00
1	656,70	20,5	657,02	03	660,47	05
7	75	„	6,87	18	—	—
10	75	„	6,87	18	50	02
15	70	„	6,82	23	49	03
20	63	20,6	6,76	29	50	02
25	63	„	6,74	31	43	09
30	58	„	6,64	41	39	13
35	61	„	6,61	44	44	08
40	62	„	6,60	45	41	11
50	48	„	6,65	40	36	16
60	53	„	6,59	46	37	15
70	68	„	6,54	51	41	11
80	64	20,7	6,53	52	34	18
90	58	„	6,54	51	28	24
100	44	„	6,49	56	29	23
120	13	20,8	6,55	50	32	20
140	53	„	6,39	66	33	19
160	36	20,9	6,37	68	29	23
		$X_0 =$		1,15		0,25

Tabelle IX.

Tempo: **0,2 mm.** $\Delta F = 100$ **mm.**

t_n	B_n^0	Mittlere Temperat.	*B. 8.* red. F_n^0	*B. 8.* y_n	*G. 5.* red. F_n^0	*G. 5.* y_n
0	653,80	21,6	655,41	0,00	659,43	0,00
5	3,93	„	5,28	13	39	04
10	3,94	„	5,25	16	42	01
20	4,00	„	5,21	20	—	—
30	4,02	„	5,14	27	32	11
40	3,92	21,7	5,14	27	34	09
50	3,82	„	5,09	32	30	13
60	3,81	„	5,00	41	33	10
75	3,75	„	5,01	40	27	16
90	3,61	„	5,05	36	37	06
100	3,69	21,8	5,00	41	34	09
120	3,52	„	4,94	47	34	09
140	3,44	„	4,87	54	28	15
160	3,23	„	4,93	48	33	10
		$X_0 =$		0,95		0,15

eine absolute Ruhelage überhaupt niemals eintreten, dieselbe vielmehr stets um einen Mittelwerth schwanken wird.

Da es zu weit führen und bei der Aehnlichkeit der einzelnen Reihen wenig Interesse bieten würde, das ganze direct gewonnene Beobachtungsmaterial mitzutheilen, so sind in den folgenden Tabellen III. bis XVI. für je ein Instrument der

Tabelle X.

Tempo: **2,0 mm.** $\Delta F = 20$ **mm.**

t_n	B_n^0	Temperat. des Instr.	*R. 9.* red. F_n^0	y_n
0	732,80	16,2	734,42	0,00
5	2,85	„	31	11
10	2,79	„	30	12
15	2,74	„	29	13
20	2,80	„	29	13
25	2,92	„	27	15
30	3,00	„	36	06
40	3,10	„	32	10
50	2,97	„	35	07
65	2,85	16,3	27	15
80	2,67	„	31	11
90	2,60	„	28	14
100	2,54	„	24	18
110	2,16	„	22	20
120	2,35	„	24	18
130	2,37	„	22	20
140	2,39	„	26	16
		$X_0 =$		0,20

Tabelle XI.

Tempo: **2,0 mm.** $\Delta F = 40$ **mm.**

t_n	B_n^0	Temperat. des Instr.	*R. 9.* red. F_n^0	y_n
0	738,18	20,7	739,82	0,00
5	16	„	39,94	12
10	16	„	39,98	16
15	19	„	40,01	19
30	27	„	40,03	21
40	32	„	40,08	26
50	40	„	40,10	28
60	43	20,8	40,10	28
70	38	„	40,11	29
80	34	„	40,12	30
90	33	„	40,09	27
100	28	„	40,11	29
120	20	„	40,06	24
140	05	21,0	40,14	32
		$X_0 =$		0,40

Tabelle XII.

Tempo: **2,0 mm.** $\Delta F = 70$ **mm.**

t_n	B_n^0	Temperat. des Instr.	*R. 9.* red. F_n^0	y_n
0	754,20	24,7	755,04	0,00
10	20	„	18	14
15	25	„	38	34
20	31	24,9	36	32
30	20	25,0	43	39
40	14	„	46	42
50	11	„	49	45
60	08	25,1	52	48
70	04	„	53	49
80	02	25,2	55	51
90	09	„	54	50
100	30	25,3	60	56
120	22	25,5	57	53
160	02	„	59	55
		$X_0 =$		0,90

Tabelle XIII.

Tempo: **2,0 mm.** $\Delta F = 100$ **mm.**

t_n	B_n^0	Temperat. des Instr.	*R. 9.* red. F_n^0	y_n
0			[749,75]	0,00
1,6	749,42	15,3	749,81	06
5	49,39	„	49,83	08
10	49,44	„	49,88	13
15	49,54	„	50,08	33
20	49,58	„	50,10	35
25	49,62	„	50,19	44
30	49,67	15,4	50,24	49
42	49,73	„	50,25	50
50	49,73	15,6	50,41	66
60	49,80	„	50,40	65
70	49,80	15,8	50,42	67
80	49,81	„	50,55	80
90	49,93	16,0	50,46	71
100	50,01	16,2	50,55	80
120	50,02	„	50,53	78
140	50,06	16,5	50,52	77
		$X_0 =$		1,30

Tabelle XIV.

Tempo: **1,0 mm.** $\Delta F = 100$ **mm.**

t_n	B_n^0	Temperat. des Instr.	*R. 9.* red. F_n^0	*R. 9.* y_n
0	776,56	17,0	779,34	0,00
5	54	„	79,46	12
10	55	„	79,51	17
15	58	„	79,55	21
20	58	„	79,62	28
30	57	„	79,73	39
40	59	17,1	79,77	43
50	64	„	79,76	42
60	62	17,3	79,78	44
70	58	„	79,82	48
80	56	„	79,90	56
90	52	„	79,91	57
100	52	17,4	79,94	60
120	57	17,5	79,98	64
140	55	„	80,00	66
		$X_0 =$		1,20

Tabelle XV.

Tempo: **0,5 mm.** $\Delta F = 100$ **mm.**

t_n	B_n^0	Temperat. des Instr.	*R. 9.* red. F_n^0	*R. 9.* y_n
0			[749,74]	0,00
2	749,61	22,5	49,78	04
4	9,61	„	49,81	07
7	9,61	„	49,82	08
10	9,62	„	49,93	19
15	9,63	22,6	49,96	22
20	9,57	„	50,02	28
25	9,60	„	50,02	28
30	9,60	„	50,02	28
35	9,58	„	50,04	30
40	9,54	„	50,08	34
50	9,55	„	50,07	33
60	9,51	„	50,11	37
70	9,46	22,5	50,15	41
80	9,35	„	50,11	37
90	9,28	„	50,08	34
100	9,25	„	50,09	35
145	8,70	„	50,23	49
		$X_0 =$		1,00

Tabelle XVI.

Tempo: **0,2 mm.** $\Delta F = 100$ **mm.**

t_n	B_n^0	Temperat. des Instr.	*R. 9.* red. F_n^0	*R. 9.* y_n
0	763,43	21,0	765,52	0,00
5	47	„	55	03
10	47	„	58	06
20	51	„	71	19
30	57	„	71	19
40	60	„	72	20
50	67	„	68	16
60	74	„	74	22
70	74	„	84	32
80	85	„	76	24
90	86	21,4	79	27
100	90	„	77	25
120	88	21,6	79	27
140	86	„	79	27
		$X_0 =$		0,70

$\Delta F = 100$ mm, Tempo = 0,2, 0,5, 1,0, 2,0 mm.

Tempo = 2,0 mm, $\Delta F = 20, 40, 70$ mm.

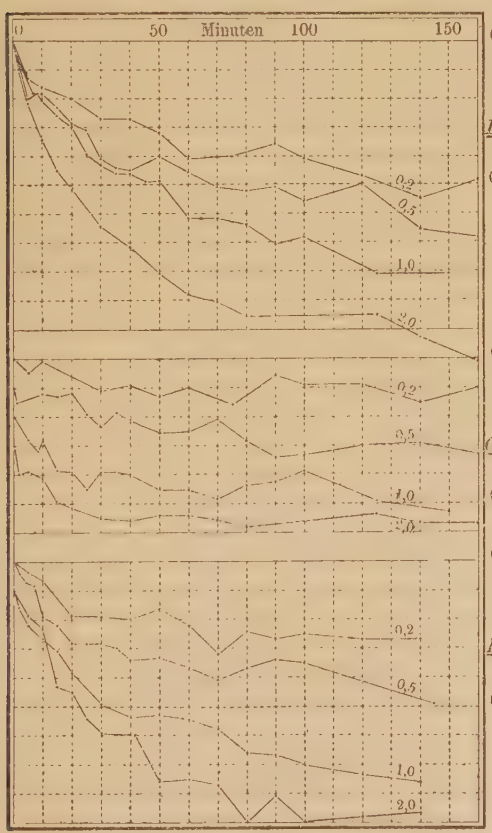

Fig. 3.

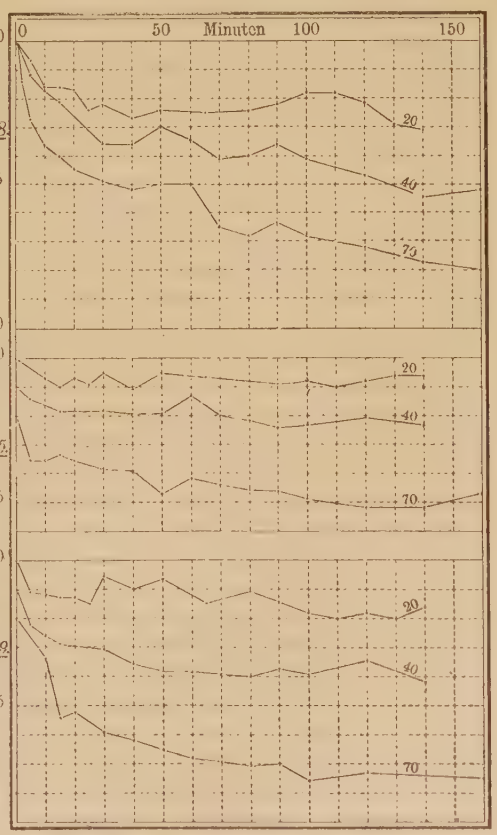

Fig. 4.

verschiedenen Constructionen, nämlich für *B. 8.*, *G. 5.* und *R. 9.* die bei den Druckintervallen 100, 70, 40 und 20 mm mit dem Tempo 2,0 mm, sowie die bei 100 mm und den Tempi 1,0, 0,5 und 0,2 mm erhaltenen Reihen zusammengestellt, so dass dieselben die Beziehung der Nachwirkungsgrössen zum Druckunterschied und Tempo zum Ausdruck bringen. Da ferner der Verlauf der elastischen Nachwirkung in den Beobachtungen der ersten Stunden sich am Deutlichsten ausprägt und dabei ihre wesentlichsten Eigenschaften zeigt, so sind in den Tabellen die Reihen auch nur bis zu 200 Minuten angegeben. Die Bezeichnungen sind dieselben wie in dem das Rechnungsverfahren darlegenden, früher mitgetheilten Beispiel. Es kommen nur noch die auf den Moment der Druckeinstellung reducirten Aneroidstände y_n, sowie die Abstände X_0 von der Ruhelage zur Zeit $t_n = 0$ hinzu. Die Tabellen III. bis IX. bringen die Angaben für die Instrumente *B. 8.* und *G. 5.*, Tabelle X. bis XVI. für *R. 9.*, das, da wie schon bemerkt seine Theilung nur bis 710 mm reicht, nicht immer gleichzeitig mit den anderen Barometern beobachtet werden konnte.

Die Figuren 3 und 4 auf voriger Seite geben eine Darstellung dieser Reihen, und zwar Figur 3 für das Druckintervall 100 mm mit dem Tempo 0,2, 0,5, 1,0 und 2,0 mm, Figur 4 für die Druckunterschiede 20, 40 und 70 mm mit dem Tempo 2,0 mm.

Die Abhängigkeit vom Intervall und Tempo wird im Abschnitt 7 speciell behandelt werden.

Die durch gleiche Druckunterschiede bei gleichem Tempo hervorgerufenen Nachwirkungen waren für die beiden Zeiger-Aneroide *N. 3.* und *B. 8.* innerhalb der durch Druckschwankungen und Temperaturunterschiede möglichen Abweichungen einander vollkommen gleich. Die mit demselben Anfangspunkt aufgetragenen Curven durchschnitten sich vielfach; eine Abhängigkeit von der Temperatur war nicht ausgeprägt, dagegen zeigte sich, dass die Ruhelage etwas schneller erreicht wurde nach Druckzunahme als nach Druckabnahme. Der Verlauf der Nachwirkung war jedoch in beiden Fällen in den ersten Stunden derselbe, die Verschiedenheit zeigte sich erst später und war überhaupt im einzelnen Fall nicht zu erkennen, sondern sie trat erst bei Betrachtung des gesammten Beobachtungsmateriales hervor. Eine Erklärung dieser Erscheinung ergiebt sich einmal dadurch, dass ein constanter Druck bei niederen Barometerständen ohne beständige Beaufsichtigung des Apparates nur schwer zu erhalten, und ferner eine gewisse Verschiedenheit der in beiden Fällen auftretenden Nachwirkungsgrössen wohl zu erwarten war, da bei höheren Barometerständen die Feder stärker gespannt ist als bei niederen.

Da nun für die beiden genannten Instrumente diese Abweichungen so gering waren, dass sie bei dem eingeschlagenen Beobachtungsverfahren von den durch Temperatur- und Druckschwankungen herrührenden Beeinflussungen der Nachwirkung nicht ohne Weiteres zu trennen waren, so konnten sämmtliche Reihen innerhalb der einzelnen Gruppen als gleich behandelt werden. Es wurden daher die in jedem Moment t_n stattfindenden Abstände x_n von der jeweiligen Ruhelage nach der Formel $x_n = X_0 - y_n$ abgeleitet, die somit für x_n erhaltenen Reihen innerhalb der einzelnen Gruppen gemittelt, und diese Mittel der weiteren Rechnung zu Grunde gelegt.

IV. Vergleichung der Beobachtungsresultate mit der Theorie.

6. Darstellung der beobachteten Nachwirkungsreihen nach den Formeln von Kohlrausch.

Kohlrausch[1]) hat ausgehend von der durch Weber[2]) gegebenen Erklärung, welche die elastische Nachwirkung als eine Drehung der Molecule um Elasticitätaxen auffasst, nach Einführung eines Molecularwiderstandes W die Formeln aufgestellt:

I. $-\frac{dx}{dt} = \alpha \frac{x}{t^n}$ mit dem Integral: $x = Ce^{-\frac{\alpha}{1-n}t^{1-n}} = Ce^{-at^m}$

und mit der Annahme $n = 1$:

II. $-\frac{dx}{dt} = \alpha \frac{x}{t}$ mit dem Integral: $x = \frac{c}{t^a}$.

Darin ist x der zur Zeit t vorhandene Abstand von der Ruhelage; C, a und m bezw. c und α sind die der Grösse der Nachwirkung und der Geschwindigkeit ihres Verlaufes entsprechenden und für den einzelnen Fall zu bestimmenden Constanten.

Durch diese Formeln liessen sich alle beobachteten Dehnungs-, Torsions- und Biegungsnachwirkungen mit genügendem Anschluss darstellen.

Es fragt sich nun, ob auch die hier vorliegenden Nachwirkungen des elastischen Federsystems im Aneroid, welche durch allmälig mit verschiedenen Geschwindigkeiten fortschreitende Druckänderungen hervorgerufen, und bei constant gehaltenem Druck durch Vergleichungen mit einem Quecksilberbarometer beobachtet sind, sich durch die angegebenen Formeln zum Ausdruck bringen lassen.

Die Nachwirkungen, welche zur Aufstellung derselben führten, waren durch plötzlich vorgenommene Deformationen hervorgerufen worden; um nun die vorliegenden Beobachtungen von der Verschiedenheit der Erzeugung der Nachwirkung unabhängig zu machen und in einfacher Weise eine Vergleichung ihrer Grössen zu ermöglichen, muss an Stelle der während einer bestimmten Zeit stetig einwirkenden Kraft, eine ihr der Wirkung nach gleiche, momentan auftretende substituirt werden, derart, dass die Nachwirkungen als durch im Zeitmoment $t = 0$ vorgenommene Deformationen entstanden aufzufassen sind.

Die Anwendung der Formeln wurde auf die für die Instrumente *N. 3.* und *B. 8.* (nach den Ausführungen am Schlusse des vorigen Abschnittes) zu Mitteln zusammengefassten Beobachtungen für x_n beschränkt, da dieselben wegen der grösseren Anzahl der in ihnen vereinigten Reihen eine zuverlässigere Darstellung des Verlaufes boten, und wegen der relativen Grösse der Nachwirkungswerthe eine sichrere Vergleichung zuliessen, als dies für die einzelnen direct beobachteten Reihen möglich war.

Für die Ausführung der Rechnung wurde in erster Linie die einfache Formel II: $x = c/t^{\alpha}$ gewählt. Kohlrausch[1]) hat gezeigt, dass sich mit derselben aus den Beobachtungen für spätere Zeiten mit genügender Sicherheit auf die ersten Zeiten zurückrechnen lässt und dass der Einwand, dass zur Zeit $t = 0$ der Abstand $x = \infty$ ist, praktisch hinfällig ist. Der bei einem Theil der Beobachtungsreihen angestellte Versuch ergab jedoch, dass die mit den nach der Methode der kleinsten Quadrate ermittelten Constanten c und α berechneten Werthe x_n nur bei den Nachwirkungen mit grösseren Anfangsgeschwindigkeiten einen genügenden Anschluss

[1]) Pogg. Ann. 119. S. 349 und 128 S. 9. — [2]) Pogg. Ann. 54. — [3]) Pogg. Ann. 158 S. 365

an die Beobachtungen zeigten, bei kleineren in den ersten 50 Minuten dieselben überschritten und sich erst später anschlossen. Der weitere Versuch, durch Hinzufügung einer Constanten zur Zeit einen besseren Anschluss zu erreichen, wurde als nicht zweckentsprechend aufgegeben, da wegen der Beziehung dieser Zeitconstanten zu dem Geschwindigkeitsexponenten α eine directe Vergleichung der Nachwirkungen sich nicht so einfach gestaltete als bei Innehaltung der Zeit $t = 0$ für den Moment der Druckeinstellung. Aus diesen Gründen wurde der unter I angegebenenen Formel $x = C e^{-at^m}$ der Vorzug gegeben. Bei Ableitung der Näherungswerthe für die Constanten C, a und m fand sich, dass für die ersten 100 Minuten die Constante m bei allen 16 Gruppen um den Werth $m = 0{,}5$ schwankte [1]); daher wurde von der geringen Abnahme des Werthes m mit dem Zeitverlauf abgesehen und der Formel die Gestalt gegeben:

$$x = \frac{C}{e^{a\sqrt{t}}}.$$

Die damit nach Berechnung der Constanten C und a nach der Methode der kleinsten Quadrate abgeleiteten Werthe für x_n zeigten, besonders für die ersten Zeiten, eine weit bessere Uebereinstimmung mit der Beobachtung als die nach der Formel II ermittelten. Die folgenden Tabellen XVII bis XX geben je für ein Tempo mit den vier Druckunterschieden in Spalte 1 unter t_n, die nach Schluss der Druckeinstellung verlaufene Zeit, in Spalte 2 unter λ_n, die in der am Schluss von Abschnitt 5 angegebenen Weise abgeleiteten mittleren Abstände von der Ruhelage, in Spalte 3 die mit den unter jeder Tabelle (nebst ihren mittleren Fehlern) angeführten Constanten C und a berechneten Abstände x_n, und endlich in Spalte 4 die übrigbleibenden Fehler v_n. Dieselben zeigen, dass die Uebereinstimmung eine sehr gute ist.

Tabelle XVII. Tempo: **2,0 mm.**

$\Delta F = 100$ mm.				$\Delta F = 70$ mm.				$\Delta F = 40$ mm.				$\Delta F = 20$ mm.			
t_n	λ_n	x_n	v_n	t_n	λ_n	x_n	v_n	t_n	λ_n	x_n	v_n	t_n	λ_n	x_n	v_n
0	1,75			0	1,30			0	0,80			0	0,45		
2	1,65	1,61	— 0,04	2	1,22	1,17	— 0,05	5	70	0,65	— 0,05	5	37	0,34	—0,03
5	1,50	1,51	+ 1	5	1,13	1,09	— 4	10	60	60	0	10	29	32	+ 3
10	1,42	1,40	— 2	10	1,05	1,03	— 2	15	52	57	+ 5	15	29	30	+ 1
15	1,30	1,32	+ 2	15	0,93	0,96	+ 3	30	45	50	+ 5	20	28	29	+ 1
20	1,23	1,26	+ 3	20	0,88	0,92	+ 4	40	43	47	+ 4	25	28	27	— 1
25	1,17	1,20	+ 3	30	0,81	0,85	+ 4	50	47	44	— 3	30	26	26	0
30	1,15	1,15	0	40	0,75	0,79	+ 4	60	43	42	— 1	40	25	25	0
40	1,07	1,08	+ 1	50	0,73	0,75	+ 2	70	40	40	0	50	23	23	0
50	0,97	1,01	+ 4	60	0,73	0,71	— 2	80	40	38	— 2	60	21	22	+ 1
60	0,94	0,96	+ 2	70	0,68	0,67	— 1	90	43	36	— 7	80	19	20	+ 1
70	0,90	0,91	+ 1	80	0,60	0,65	+ 5	100	39	35	— 4	90	19	19	0
80	0,88	0,87	— 1	90	0,61	0,62	+ 1	120	35	32	— 3	120	17	17	0
100	0,85	0,80	— 5	100	0,65	0,60	— 5	140	28	30	+ 2	140	16	16	0
120	0,74	0,74	0	120	0,58	0,55	— 3	160	25	28	+ 3	180	15	14	— 1
140	0,69	0,69	0	140	0,55	0,52	— 3								
160	0,65	0,64	— 1	160	0,49	0,48	— 1								
180	0,60	0,60	0	180	0,45	0,46	+ 1								
$C = 1{,}81 \pm 0{,}021$				$C = 1{,}30 \pm 0{,}031$				$C = 0{,}78 \pm 0{,}046$				$C = 0{,}41 \pm 0{,}016$			
$a = 0{,}082 \pm 0{,}0019$				$a = 0{,}078 \pm 0{,}0036$				$a = 0{,}081 \pm 0{,}0078$				$a = 0{,}080 \pm 0{,}0058$			

[1]) Kohlrausch fand für Glasfäden $m = 0{,}25$. Pogg. Ann. 119, S. 354.

Tabelle XVIII. Tempo: **1,0 mm.**

$\Delta F = 100$ mm.				$\Delta F = 70$ mm.				$\Delta F = 40$ mm.				$\Delta F = 20$ mm.			
t_n	λ_n	x_n	v_n	t_n	λ_n	x_n	v_n	t_n	λ_n	x_n	v_n	t_n	λ_n	x_n	v_n
0	1,50			0	1,20			0	0,70			0	0,40		
2	1,45	1,45	0,00	5	1,06	1,06	0,00	5	57	0,58	+ 0,01	5	35	0,35	0,00
5	1,34	1,37	+ 3	10	1,01	1,01	0	10	55	54	— 1	10	32	32	0
7	1,34	1,33	— 1	15	0,96	0,97	+ 1	15	51	50	— 1	15	30	30	0
10	1,31	1,29	— 2	20	0,93	0,94	+ 1	20	46	47	+ 1	20	28	29	+ 1
15	1,26	1,23	— 3	30	0,91	0,89	— 2	30	42	43	+ 1	30	28	26	— 2
20	1,20	1,18	— 2	40	0,85	0,85	0	40	42	40	— 2	40	25	24	— 1
25	1,12	1,14	+ 2	50	0,82	0,81	— 1	50	36	37	+ 1	50	22	23	+ 1
30	1,08	1,10	+ 2	60	0,80	0,78	— 2	70	37	33	— 4	60	21	21	0
35	1,03	1,07	+ 4	70	0,74	0,76	+ 2	80	34	31	— 3	70	20	20	0
40	1,02	1,04	+ 2	80	0,71	0,73	+ 2	90	35	30	— 5	90	20	18	— 2
50	1,00	0,99	— 1	90	0,72	0,71	— 1	100	31	28	— 3	100	18	18	0
60	0,94	0,95	+ 1	100	0,73	0,69	— 4	120	25	26	+ 1	120	15	16	+ 1
70	0,91	0,91	0	120	0,65	0,66	+ 1	150	20	23	+ 3	140	15	15	0
80	0,85	0,87	+ 2	140	0,66	0,62	— 4	180	17	20	+ 3	160	12	14	+ 2
90	0,83	0,84	+ 1	160	0,62	0,58	— 4	200	14	19	+ 5				
100	0,82	0,81	— 1												
120	0,76	0,76	0												
150	0,71	0,70	— 1												
160	0,70	0,68	— 2												
180	0,64	0,65	+ 1												
$C = 1{,}59 \pm 0{,}013$				$C = 1{,}20 \pm 0{,}033$				$C = 0{,}72 \pm 0{,}046$				$C = 0{,}42 \pm 0{,}013$			
$a = 0{,}067 \pm 0{,}0011$				$a = 0{,}055 \pm 0{,}0026$				$a = 0{,}094 \pm 0{,}0101$				$a = 0{,}087 \pm 0{,}0052$			

Tabelle XIX. Tempo: **0,5 mm.**

$\Delta F = 100$ mm.				$\Delta F = 70$ mm.				$\Delta F = 40$ mm.				$\Delta F = 20$ mm.			
t_n	λ_n	x_n	v_n	t_n	λ_n	x_n	v_n	t_n	λ_n	x_n	v_n	t_n	λ_n	x_n	v_n
0	1,25			0	0,95			0	0,55			0	0,35		
2	1,17	1,16	— 0,01	5	88	0,90	+ 0,02	5	50	0,53	+ 0,03	5	32	0,30	— 0,02
5	1,11	1,10	— 1	10	84	85	+ 1	10	47	48	+ 1	10	29	28	— 1
7	1,08	1,08	0	20	81	78	— 3	15	47	45	— 2	20	24	25	+ 1
10	1,04	1,05	+ 1	30	74	72	— 2	20	44	43	— 1	30	22	23	+ 1
15	1,02	1,00	— 2	40	67	68	+ 1	30	41	39	— 2	40	18	22	+ 4
20	0,97	0,97	0	50	65	65	0	40	36	36	0	50	19	21	+ 2
25	0,94	0,94	0	60	61	62	+ 1	50	33	33	0	60	21	20	— 1
30	0,91	0,91	0	70	58	60	+ 2	60	29	31	+ 2	70	22	19	— 3
35	0,89	0,89	0	80	55	57	+ 2	80	28	28	0	80	21	18	— 3
40	0,86	0,87	+ 1	90	47	55	+ 8	90	26	27	+ 1	100	15	17	+ 2
50	0,82	0,83	+ 1	100	47	53	+ 6	100	25	25	0	120	20	16	— 4
60	0,79	0,80	+ 1	120	48	50	+ 2	120	24	23	— 1	140	12	15	+ 3
70	0,77	0,77	— 0	140	50	47	— 3					180	12	13	+ 1
80	0,73	0,74	+ 1	160	46	45	— 1								
90	0,70	0,72	+ 2	180	38	42	+ 4								
100	0,70	0,70	0												
120	0,65	0,66	+ 1												
140	0,55	0,63	+ 8												
160	0,55	0,60	+ 5												
180	0,55	0,57	+ 2												
$C = 1{,}26 \pm 0{,}019$				$C = 1{,}05 \pm 0{,}039$				$C = 0{,}65 \pm 0{,}019$				$C = 0{,}35 \pm 0{,}033$			
$a = 0{,}059 \pm 0{,}0024$				$a = 0{,}068 \pm 0{,}0052$				$a = 0{,}094 \pm 0{,}0055$				$a = 0{,}074 \pm 0{,}0131$			

Tabelle XX. Tempo: **0,2 mm.**

$\Delta F = 100$ mm.				$\Delta F = 70$ mm.				$\Delta F = 40$ mm.				$\Delta F = 20$ mm.			
t_n	λ_n	x_n	v_n	t_n	λ_n	x_n	v_n	t_n	λ_n	x_n	v_n	t_n	λ_n	x_n	v_n
0	0,90			0	0,75			0	0,45			0	0,25		
5	81	0,84	+ 0,03	10	69	0,69	0,00	5	41	0,43	+ 0,02	10	24	0,22	−0,02
10	79	80	+ 1	15	66	67	+ 1	10	39	40	+ 1	15	21	20	— 1
20	73	74	+ 1	20	64	64	0	15	40	39	— 1	20	19	19	0
30	70	70	0	30	60	62	+ 2	20	33	37	+ 4	30	19	18	— 1
40	68	67	— 1	40	61	59	— 2	30	34	35	+ 1	40	14	16	+ 2
50	66	64	— 2	50	60	57	— 3	40	32	33	+ 1	50	10	15	+ 5
60	62	61	— 1	60	57	55	— 2	50	30	31	+ 1	60	10	14	+ 4
70	55	58	+ 3	80	55	52	— 3	60	30	30	0	70	10	14	+ 4
80	55	57	+ 2	90	51	50	— 1	70	32	28	— 4	80	12	13	+ 1
90	54	56	+ 2	100	44	49	+ 5	80	30	27	— 3	100	12	12	0
100	54	54	+ 0	120	45	47	+ 2	90	27	26	— 1	120	13	11	— 2
120	52	51	— 1	140	46	45	— 1	100	29	25	— 4	140	12	10	— 2
140	46	49	+ 3	160	43	43	0	120	22	24	+ 2	160	14	09	— 5
160	45	47	+ 2					140	16	22	+ 6				
180	39	45	+ 6					160	15	21	+ 6				
								180	14	20	+ 6				
$C = 0,95 \pm 0,023$				$C = 0,81 \pm 0,026$				$C = 0,50 \pm 0,039$				$C = 0,29 \pm 0,044$			
$a = 0,056 \pm 0,0024$				$a = 0,050 \pm 0,0028$				$a = 0,068 \pm 0,0119$				$a = 0,091 \pm 0,022$			

Der Umstand, dass in einzelnen Fällen der Anschluss für die späteren Zeiten etwas weniger sicher ist, kann ebensowohl in wirklichen Abweichungen als auch darin begründet sein, dass die Constante m nur innerhalb der ersten 100 Minuten zu 0,5 gefunden wurde, und für die späteren Zeiten sich ein kleinerer Werth ergeben haben würde. Es sei noch erwähnt, dass für die Instrumente *G. 5.* und *R. 9.* aus einigen Reihen näherungsweise die Constanten abgeleitet wurden; der Anschluss zeigte sich auch hier genügend. Von einer Weiterführung der Rechnung wurde Abstand genommen, da die auf graphischem Wege ermittelten Werthe das sogleich zu besprechende Abhängigkeitsverhältniss genügend sicher zu erkennen gaben.

7. Die Abhängigkeit der beobachteten Nachwirkungsgrössen, sowie der Constanten C und a vom Druckintervall und Tempo.

Zur Darlegung der Abhängigkeit der in Folge der Nachwirkung in bestimmten Zeiten durchlaufenen Wege, möge zunächst auf die in den Tabellen III bis XVI

Tabelle XXI.

Tempo.	ΔF.	*B. 8.*		*G. 5.*		*R. 9.*	
		X_0	y_0^{100}	X_0	y_0^{100}	X_0	y_0^{100}
0,2	100	0,95	0,45	0,15	0,12	0,70	0,26
0,5	„	1,15	0,55	0,25	0,20	1,00	0,40
1,0	„	1,50	0,72	0,35	0,25	1,20	0,60
2,0	„	1,80	1,00	0,40	0,26	1,30	0,79
„	70	1,40	0,68	0,35	0,26	0,90	0,53
„	40	0,70	0,45	0,16	0,14	0,40	0,29
„	20	0,45	0,25	0,10	0,09	0,20	0,18

mitgetheilten directen Beobachtungen zurückgegangen werden. In der vorstehenden Tabelle XXI sind nach den Tabellen III bis XVI und den Curven in Figur 3 und 4

für die Instrumente *B. 8.*, *G. 5.* und *R. 9.* die dort angegebenen, aus den einzelnen Beobachtungsreihen abgeleiteten Abstände X_0 von der Ruhelage, sowie die in den

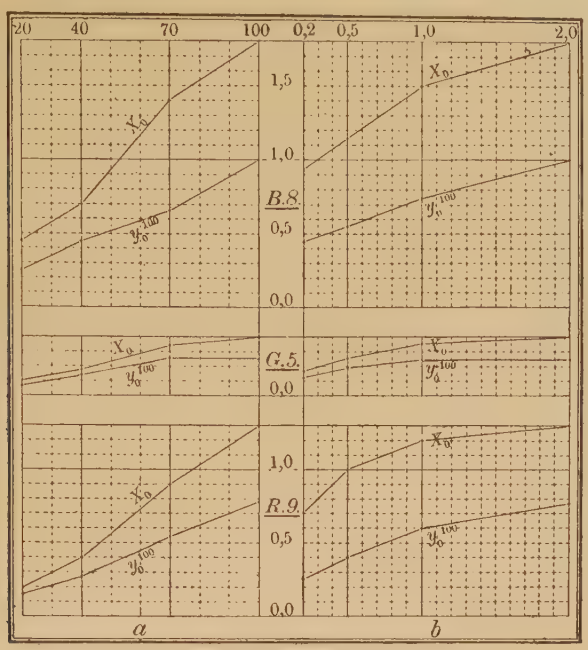

Fig. 5.

Zeiten von 0 bis 100 Minuten in Folge der Nachwirkung durchlaufenen (graphisch ermittelten), Wege y_0^{100} zusammengestellt.

Sodann sind, um diese Beziehungen graphisch zum Ausdruck zu bringen, die in der Tabelle enthaltenen Werthe für X_0 und y_0^{100} in der Figur 5a als Ordinaten

Tabelle XXII.

Tempo.	Druckintervall in mm.			
	20	40	70	100
	Die Constanten: *C*			
0,2	0,29	0,50	0,81	0,95
0,5	0,35	0,65	1,05	1,26
1,0	0,42	0,72	1,20	1,59
2,0	0,41	0,78	1,30	1,81
	Die Constanten: *a*			
0,2	0,091	0,068	0,050	0,056
0,5	0,074	0,094	0,068	0,059
1,0	0,087	0,094	0,055	0,067
2,0	0,080	0,081	0,078	0,082
	Mittlere Temperaturen.			
0,2	25	24	21	22
0,5	21	22	22	21
1,0	18	19	20	17
2,0	16	21	20	17

zu den Druckintervallen und in Figur 5b zu dem Tempo als Abscissen aufgetragen. Es zeigt sich, dass die Grösse der Nachwirkung mit dem Druckintervall wächst,

und dass sich näherungsweise die Abhängigkeit durch eine lineare Function darstellen lässt; es giebt sich allerdings eine geringe Verzögerung des Zunehmens mit wachsendem Druckintervall (wie auch bei den später mitzutheilenden vollständigen Gruppen) besonders bei *G. 5.* zu erkennen.

Die Darstellung der Figur 5b zeigt dagegen für die Abhängigkeit der Nachwirkung vom Tempo (bei dem Druckintervall 100 mm) ausgeprägt ein mit wachsendem Tempo verzögertes Zunehmen.

Die Tabelle XXII enthält eine Zusammenstellung der in den Tabellen XVII bis XX enthaltenen Constanten *C* und *a*, sowie der Uebersicht halber in der untersten Abtheilung die Mittel aus allen bei den einzelnen Reihen beobachteten Temperaturen. In gleicher Weise wie für die directen Beobachtungen sind die Beziehungen der Constanten *C* zu Druckintervall und Tempo in den Figuren 6a bezw. 6b dargestellt. Aus denselben geht hervor, dass die Constante *C* mit dem Druckunterschied wächst und zwar mit einer gewissen Verzögerung und ferner, dass die Grösse dieser Verzögerung mit wachsendem Tempo abnimmt, so dass innerhalb der Grenzen 20 mm bis 100 mm für das Tempo 2,0 mm die Function geradlinig erscheint. Wenn nun auch, wie aus Abschnitt 9 hervorgehen wird, durch die Annahme, dass die eintreten-

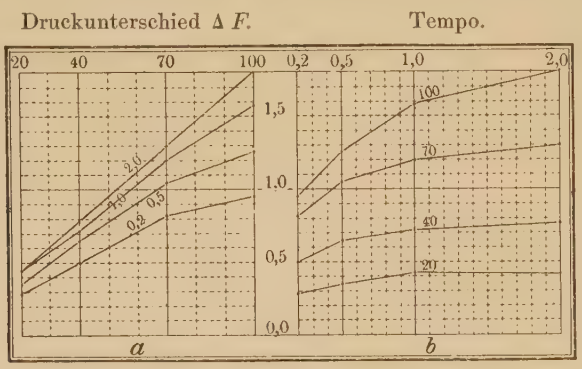

Fig. 6.

den Ruhelagen proportional den Luftdrucken sind, eine Verzögerung des Zunehmens mit wachsendem Intervall bedingt wird, so kann doch, wenn es sich allein um einen Ausdruck für die Abhängigkeit vom Intervall innerhalb desselben Tempos handelt, näherungsweise die Nachwirkung direct proportional dem Druckunterschied gesetzt werden, zumal die beobachteten Unterschiede nur 80 mm (zwischen 20 und 100 mm) umfassen. Figur 6b giebt wie bei den directen Beobachtungen der Figur 5b für die Abhängigkeit der Constanten *C* vom Tempo (bei demselben Intervall) eine dem mit wachsendem Tempo verzögertem Zunehmen entsprechende Curve.

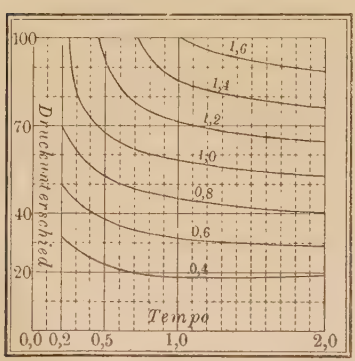

Fig. 7.

Dementsprechend wäre allgemein die Beziehung der Constanten *C* zum Druckunterschied und Tempo durch die Gleichung einer Fläche zweiten Grades zum Ausdruck zu bringen. Da jedoch die der Rechnung zu Grunde liegenden Reihen aus Beobachtungen für nur zwei Instrumente abgeleitet sind, ferner, wie aus den Tabellen XVII bis XX hervorgeht, sich die Constanten *C* durchschnittlich mit einem mittleren Fehler von 0,03 mm be-

stimmt haben, und endlich in Folge der unvermeidlichen Druckschwankungen und Temperatureinflüsse fehlerhaft bestimmte Ruhelagen direct auf die Constanten C einwirken (abgesehen von andern den Verlauf der Nachwirkung beeinträchtigenden Ursachen) so ist vor der Hand von der Aufstellung jener Gleichung Abstand genommen, und das Abhängigkeits-Verhältniss in der obigen Isoplethen-Tafel (Fig. 7) mit den beiden Argumenten „Tempo“ als Abscisse und „Druckunterschied“ als Ordinate graphisch dargestellt.

Die in der Tabelle XXII zusammengestellten Werthe für die Constanten a, welche die Geschwindigkeit der Annäherung an die zu erreichende Ruhelage zum Ausdruck bringen, zeigen nur wenig Regelmässigkeit. Eine Zusammenfassung der einzelnen Werthe zu Mitteln nach Tempo und Druckunterschied lässt jedoch ein Zunehmen von a mit wachsendem Tempo und ein Abnehmen mit wachsendem Druckunterschied erkennen. Dementsprechend ist unter Zugrundelegung einer linearen Beziehung für beide Argumente der Ausdruck abgeleitet worden:

$$a_n = 0{,}0551 + 0{,}0067\ T + 0{,}000301\ (100 - \Delta F),$$

worin T das Tempo und ΔF den Druckunterschied bedeutet.

Die danach berechneten Werthe für a sind in der folgenden Tabelle XXIII zusammengestellt.

Tabelle XXIII.

Tempo.	20	40	70	100 mm.
0,2	0,0804	0,0744	0,0654	0,0564
0,5	0,0825	0,0765	0,0675	0,0585
1,0	0,0858	0,0798	0,0708	0,0617
2,0	0,0925	0,0865	0,0775	0,0685

Aus derselben geht hervor, dass Nachwirkungen, die durch Druckänderungen mit langsamem Tempo hervorgerufen sind, langsamer verschwinden als solche mit schnellerem Tempo, und dass ferner bei grösseren Druckunterschieden die Nachwirkungsbewegung langsamer verläuft als bei kleineren.

8. Der Verlauf der Nachwirkung während einer Druckänderung.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass in Folge der elastischen Nachwirkung die Bestimmung der Theilungs-Verbesserung grössere Werthe für positive Coefficienten ergiebt bei langsamerem Durchlaufen der Scale als bei schnellerem, und umgekehrt in entsprechendem Sinne für negative Coefficienten kleinere Werthe. In Fig. 8 sind beispielsweise die bei einmaligem Durchlaufen der Scale mit den verschiedenen Geschwindigkeiten erhaltenen Differenzen: Normalbarometer (auf 0° C. red.) — Federbarometer (auf 0° C. red.) für die beiden Instrumente *N. 3.* und *B. 8.* derart dargestellt, dass die den einzelnen Reihen entsprechenden Linienzüge an denselben Anfangspunkt A angetragen sind; an denselben ist der Einfluss der elastischen Nachwirkung deutlich zu erkennen. An die Endpunkte E der Curven sind die entsprechenden Werthe der Constanten C nach Tabelle XXII. angetragen und ergeben damit die Ruhelage R, welche in den einzelnen Fällen erreicht werden muss, mit ziemlicher Uebereinstimmung.

Nach dem für die Biegungselasticität giltigen Gesetz: „Die Grösse der Biegung ist den biegenden Kräften proportional“ müssten abgesehen von Temperatureinflüssen (also bei constanter Temperatur) und in der Ablesungsvorrichtung begründet

liegenden Einwirkungen die Theilungs-Verbesserungen linear sein, wenn nicht die elastische Nachwirkung sie beeinflusste.

Abweichungen von dieser ideellen Geraden durch die Ablesungsvorrichtung entstehen bei den Zeiger-Instrumenten hauptsächlich durch Unregelmässigkeiten der Kettenglieder, bei den Goldschmid'schen Instrumenten durch periodische und fortschreitende Schraubenfehler; bei den Instrumenten des Systems Reitz können dieselben nur durch Schwankungen des Mikroskopes während einer Beobachtungsreihe hervorgerufen werden. So z. B. wird die Ausbiegung der Theilungslinie bei 680 mm beim Instrument *B. 8.* in einer Unregelmässigkeit der Kettenglieder ihren Grund haben.

Die während einer stetig vor sich gehenden Formänderung auftretenden Nachwirkungen sind bei den experimentellen Untersuchungen über dieselbe an keiner mir bekannt gewordenen Stelle behandelt, sondern alle Beobachtungen beziehen sich

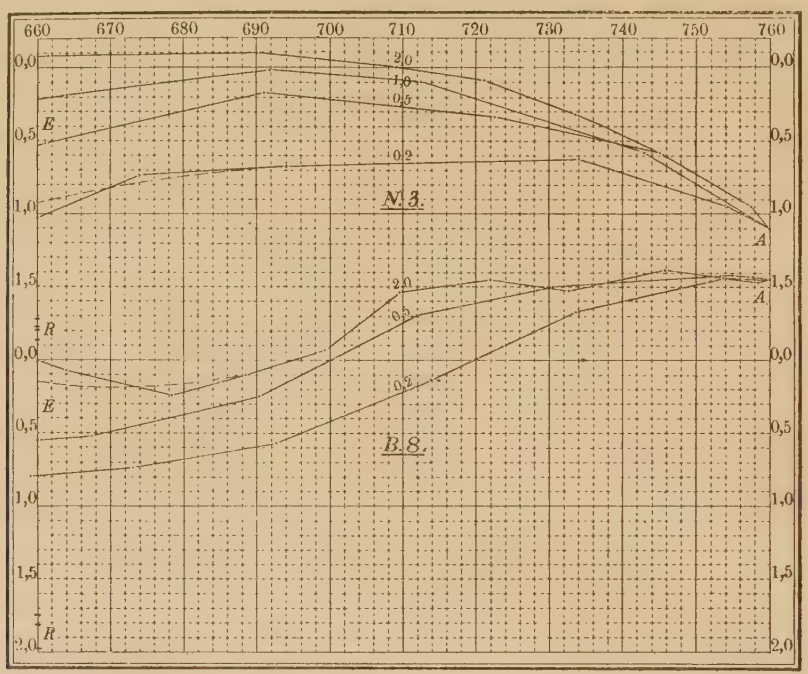

Fig. 8.

auf durch plötzliche bezw. sehr schnell ausgeführte Deformationen erzeugte Nachwirkungserscheinungen. Jene ersteren sind aber für das Aneroid die wichtigsten. Während bei allen durch momentane Krafteinwirkungen hervorgerufenen Nachwirkungen die zu erreichende Ruhelage eine constante ist, und die Geschwindigkeit der Annäherung an dieselbe mit der Zeit stetig abnimmt, so ist bei einer stetig wachsenden Krafteinwirkung die jedem Moment der Wirkung entsprechende und zu erreichende Ruhelage eine Function der Zeit und der Grösse der Kraft, und die Geschwindigkeit der Annäherung an diesen fortschreitenden Gleichgewichtszustand muss mit der Zeit zunehmen. In dem Moment, in dem eine solche stetige Krafteinwirkung aufhört, ändert sich demnach der Sinn der Geschwindigkeit der Nachwirkungsbewegung, die während der Krafteinwirkung stetig wachsende wird zu einer stetig abnehmenden.

Der Weg, den das freie Ende eines einer stetig fortschreitenden Formänderung unterworfenen elastischen Körpers in der ersten Zeiteinheit nach seiner Entfernung aus der Ruhelage ausführt, setzt sich zusammen:

1. aus dem Weg w, den dasselbe durch die in diesem Zeitmoment wirkende äussere Kraft durchläuft und
2. dem Weg n, den es in Folge der während dieses Zeitmomentes auftretenden elastischen Nachwirkung zurücklegt.

In der zweiten Zeiteinheit wird wieder derselbe Weg $w + n$ durchlaufen und dazu noch der Weg, welcher der durch die Deformation des ersten Zeitmomentes hervorgerufenen Nachwirkung entspricht. Demnach werden vom Moment des Beginnes der Formänderung an gerechnet die pro Zeiteinheit durchlaufenen Wege stetig zunehmen, und der ganze Weg eine an die Richtung des ersten Zeitmomentes als Tangente beschriebene convexe Curve bilden.

Wenn nun, unter der Annahme, dass die elastische Formveränderung in eine momentane und eine durch Nachwirkung entstehende zu trennen ist, das Verhältniss bekannt wäre, in welchem der in jeder Zeiteinheit allein in Folge der Druckänderung durchlaufene Weg zu dieser Aenderung steht, so würde „unter der Annahme linearer Uebertragung durch die Ablesevorrichtung“ aus den Vergleichungen der Aneroide mit dem Normalbarometer der in Folge der elastischen Nachwirkung während der Bewegung zurückgelegte Weg ermittelt und durch eine entsprechende Function dargestellt werden können. Das Verhältniss dieser momentan eintretenden Biegung zur Druckdifferenz ist nun aber nicht bekannt, dagegen lässt sich für die Geschwindigkeit, mit welcher die Nachwirkungsbewegung während einer bestimmten Reihe von Zeitmomenten auftritt, ein Ausdruck gewinnen, dessen Integral den Verlauf der Nachwirkung darstellen muss.

Wenn es nämlich erlaubt ist, die Geschwindigkeit, welche die Nachwirkung in der ersten Zeiteinheit nach Einstellung der Druckperiode hat, gleich der zu setzen, welche sie in der letzten Zeiteinheit vor der Einstellung hatte, so lässt sich die Beschleunigung der Nachwirkungsbewegung bei den vorliegenden Beobachtungen für dasselbe Tempo an vier Stellen bestimmen, nämlich nach Durchlaufen eines Intervalles von 20, 40, 70 und 100 mm. Die in diesen Zeiteinheiten vorhandenen Geschwindigkeiten der Nachwirkungsbewegung finden sich aus der im Abschnitt 6 unter I. angegebenen Differentialgleichung durch Einsetzen der entsprechenden Constanten in dieselbe. Mit Einführung der in der Tabelle XXII angegebenen Werthe für C und der in Tabelle XXIII zusammengestellten, in der dort angegebenen Weise ausgeglichenen Werthe für a, ergeben sich unter Zugrundelegung einer Function von der Form $v = x + yt + zt^2$, wo t die Zeit der Dauer der Druckänderung bis zum Moment ihrer Einstellung bedeutet, für die Geschwindigkeiten der Nachwirkungsbewegung bei den verschiedenen Tempi die folgenden Ausdrücke:

$$\begin{aligned}
\text{Tempo } 2{,}0: \quad \frac{dx}{dt} = v &= 0{,}00169 + 0{,}001712\ t - 0{,}00001208\ t^2 \\
\text{„ } 1{,}0: \quad \text{„} \quad \text{„} &= 0{,}00550 + 0{,}000604\ t - 0{,}00000198\ t^2 \\
\text{„ } 0{,}5: \quad \text{„} \quad \text{„} &= 0{,}00182 + 0{,}0003206\ t - 0{,}000000776\ t^2 \\
\text{„ } 0{,}2: \quad \text{„} \quad \text{„} &= 0{,}00172 + 0{,}0000992\ t - 0{,}000000104\ t^2
\end{aligned}$$

Damit ergeben sich die am Schluss des Intervalles 100 mm in Folge der elastischen Nachwirkung durchlaufenen Wege zu:

$$\begin{aligned}
\text{Tempo } 2{,}0: \quad x &= 1{,}720 \text{ mm} \\
\text{„ } 1{,}0: \quad x &= 2{,}910 \text{ mm} \\
\text{„ } 0{,}5: \quad x &= 4{,}712 \text{ mm} \\
\text{„ } 0{,}2: \quad x &= 7{,}165 \text{ mm.}
\end{aligned}$$

Trüge man diese Werthe in der Figur 8 von den Endpunkten E der den verschiedenen Tempi entsprechenden Curven graphisch nach oben an, so fände sich für jedes Tempo ein anderer Punkt, dessen Abstand von der bei allen Tempi gleichmässig erhaltenen Ruhelage R den Weg darstellen würde, der in Folge der elastischen Nachwirkung in den einzelnen Fällen überhaupt zu durchlaufen wäre. (Der Versuch, die Geschwindigkeit der Nachwirkungsbewegung durch eine Exponentialfunction darzustellen, führte zu ähnlichen Ergebnissen.)

Da nach dem Elasticitätsgesetz bei gleich grossen Deformationen ohne Rücksicht auf die Geschwindigkeit ihres Verlaufes, der Abstand der ursprünglichen von der zukünftigen Gleichgewichtslage eine constante sein muss, so liegt die Vermuthung nahe, dass dementsprechend auch die Grösse der dabei auftretenden Nachwirkungsbewegungen constant wäre, derart, dass während der kürzeren Zeitdauer einer schneller eintretenden Deformation nur ein kleinerer Theil der Nachwirkung verliefe als bei der längeren Dauer einer langsam vor sich gehenden Gestaltänderung, und der Rest bis zur Erreichung der gemeinsamen Ruhelage. Andererseits ist es aber auch, wie es nach den oben erhaltenen Werthen den Anschein gewinnt, nicht unmöglich, dass die Grösse der von der Entfernung aus der anfänglichen bis zur Erreichung der endlichen Gleichgewichtslage überhaupt auftretenden Nachwirkung nicht allein eine Function der Grösse der Gestaltänderung, sondern auch der Geschwindigkeit ihres Eintretens ist, so dass also die elastische Formveränderung nicht ohne Weiteres in eine der äusseren Krafteinwirkung proportionale, fortschreitende und eine in Folge der Nachwirkung eintretende Bewegung zu trennen ist. Diese Frage kann aus den vorliegenden Beobachtungen nicht entschieden werden. Vor Allem ist die Bestimmung der Geschwindigkeiten der Nachwirkungsbewegung für die erste Minute insofern eine sehr unsichere, als es nicht verbürgt ist, dass die Formel den Vorgang in den ersten Zeiten genügend sicher darstellt. Sodann wird die Annahme, dass die Geschwindigkeit der Bewegung im letzten Zeitmoment der Krafteinwirkung und im ersten nach dem Aufhören dieselbe ist, nicht aufrecht zu erhalten sein, da, wie später mitgetheilt werden wird, eine vorhandene Nachwirkung langsamer verläuft unter fortdauernder Wirkung einer in demselben Sinne auftretenden Kraft als bei der Ruhe. Es müsste mit Rücksicht hierauf in die für die Geschwindigkeit der Nachwirkungsbewegung angegebenen Gleichungen noch ein weiteres Glied eingeführt werden, das als eine Function des Tempo diese Verzögerung berücksichtigte.

Wie dem auch sei, nach dem Vorstehenden sind folgende für die Federbarometer wichtigen Thatsachen festzustellen:

1. Die Theilungs-Verbesserung ist (abgesehen von etwaigen in der Ablese-Vorrichtung begründeten Einflüssen) in Folge der elastischen Nachwirkung durch eine Curve darzustellen, die sich mit ihrer convexen Seite an eine an den Anfangspunkt gezogene Tangente anlehnt.
2. Der Ausdruck für diese Curve (also das Maass ihrer Krümmung) muss die durch die Beschleunigung der Nachwirkungsbewegung für das vorliegende Instrument, Druckintervall und Tempo, bedingte Form haben.
3. Die Theilungs-Verbesserung ist von dem jeweiligen Anfangspunkt des Druckintervalles abhängig.
4. Die bei Druckzunahme und Abnahme mit demselben Anfangs- und Endpunkt und demselben Tempo erhaltenen Theilungslinien sind einander nicht parallel, sondern ähnliche, mit ihren concaven Seiten einander

zugewandte Curven, wie die nachstehende Figur 9 schematisch darstellt:

Theilungs-Verb. und Nachwirkung während der Bewegung.

Nachwirkung nach der Bewegung.

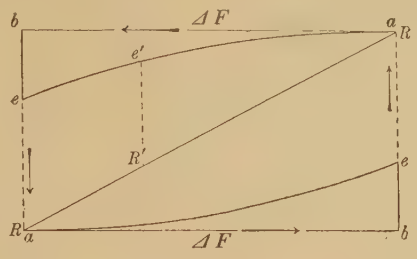

Fig. 9.

Um einen für alle Druckintervalle und Tempi genügenden Ausdruck für die Theilungslinie zu erhalten, müsste die Curve entweder auf die gerade Linie bezogen werden, welche die Bewegung durchlaufen würde, wenn während derselben keine Nachwirkung, oder auf die Linie, welche beschrieben würde, wenn die ganze überhaupt vorkommende Nachwirkung auftreten würde. In Fig. 9 entspricht *ae* dem thatsächlich durchlaufenen, *ab* dem Wege, der beschrieben würde, wenn gar keine Nachwirkung, *aR* demjenigen, wenn die ganze Nachwirkung während der Bewegung auftreten würde. Bei der Annahme, dass die nach beliebigen Druckänderungen endlich eintretenden Ruhelagen proportional diesen Druckänderungen sind, stellt die Gerade *aR* zugleich die Verbindungslinie dieser Ruhelagen dar. Die Stücke eR, $e'R'$ . . . bezeichnen die Grössen der Nachwirkung, die bei Einstellung der Druckänderung von diesem Moment bis zur Erreichung der Ruhelagen zu durchlaufen sein würden, d. h. den Werth der Constanten C; die Verzögerung ihres Zunehmens mit wachsendem Druckunterschied entspricht dem für diese Constanten gefundenen Verhältniss (vgl. Abschn. 7), und den bei schnellerem Tempo flacher werdenden Theilungscurven (Fig. 8) die gestrecktere Form der Curven für die schnelleren Tempi in Fig. 6a.

Die Lage der Geraden *ab* ist aus Vergleichungen mit dem Normalbarometer direct nicht zu bestimmen, wohl aber die Curve *ae* und die Lage der Punkte *R*. Die Verbindungslinie dieser Punkte würde somit die „wahre Theilungslinie“ darstellen, auf welche alle mit einem beliebigen Tempo durchlaufenen Intervalle nach Ermittlung der Constanten zu reduciren wären. Eine solche Darstellung würde jedoch für eine praktische Ausführung nicht zweckmässig sein, es muss daher verlangt werden, dass die Nachwirkungen so gering sind, dass dieselben in einfacherer Weise berücksichtigt werden können. Ich komme hierauf später zurück.

V. Die Beeinflussung der Nachwirkung durch äussere Einwirkungen.

9. Der Einfluss von Druckschwankungen auf den Verlauf der Nachwirkung.

Während der Ausführung der Beobachtungen zeigte sich in vielen Fällen eine auffallende Beeinflussung des Verlaufes der Nachwirkung durch die nicht zu vermeidenden Druckschwankungen. Es hatte den Anschein, als wenn bei Druckschwankung in dem Sinne des vorhergegangenen Intervalles die Nachwirkung an Geschwindigkeit abnähme und im entgegengesetzten Falle zunähme. Da es nicht unmöglich war, dass solche Abweichungen bei den Zeiger-Instrumenten und den vorkommenden nur sehr geringen Schwankungen von einer Trägheit des Mechanismus herrühren konnten, so musste diese Beeinflussung an der Hand von Beobachtungen speciell untersucht werden.

Zwei solcher Beobachtungsreihen sind in den folgenden Tabellen XXIV und XXV zusammengestellt:

Tabelle XXIV.

$\Delta F = -70$ mm -10 mm.

t_n	B_n^0	Mittlere Temperat.	red. F_n^0 B. 8.	red. F_n^0 N. 3.
0	671,04	19,8	666,80	665,25
5	71,33		6,68	5,17
10	69,68		6,60	5,02
15	8,52		6,60	5,02
20	7,50		6,57	4,99
25	6,35		6,48	4,86
30	5,48		6,58	4,83
35	4,77		6,50	4,84
40	4,03		6,55	4,70
45	3,28		6,45	4,78
50	2,44		6,33	4,72
55	1,96		6,29	4,63
60	2,29		6,35	4,71
65	2,24		6,22	4,55
70	2,14		6,20	4,55
80	2,15		6,17	4,49
90	2,15		6,14	4,44
100	2,10		6,17	4,49
110	2,10		6,14	4,45
120	2,03		6,16	4,47
140	1,93		6,10	4,40
1585	2,60		5,92	4,17

Tabelle XXV.

$\Delta F = -70$ mm $+10$ mm.

t_n	B_n^0	Mittlere Temperat.	red. F_n^0 B. 8.	red. F_n^0 N. 3.
0	675,94	22,0	681,93	680,11
5	76,12		1,75	79,93
10	77,43		1,56	9,82
15	78,29		1,47	9,67
20	79,26		1,46	9,66
25	80,24		1,40	9,62
30	81,07		1,20	9,39
35	82,10		1,17	9,36
40	82,—		—	—
45	83,74		1,22	9,37
50	84,70		1,01	9,22
55	85,69		1,01	9,23
60	86,09		0,99	9,31
65	86,37		1,11	—
70	86,55		1,12	9,31
80	86,74		1,13	9,22
90	86,45		1,12	9,20
100	86,41		1,16	9,19
110	86,37		1,16	9,13
120	86,31		1,10	9,13
140	86,02		1,11	9,17
160	85,80		1,09	9,14
180	83,53		0,91	9,03
1010	88,58		0,60	8,87

In beiden Fällen ist die erste Nachwirkung durch eine Verminderung des Druckes um 70 mm mit dem Tempo 2,0 mm hervorgerufen worden. Nachdem

$\Delta F = -70$ mm -20 mm.

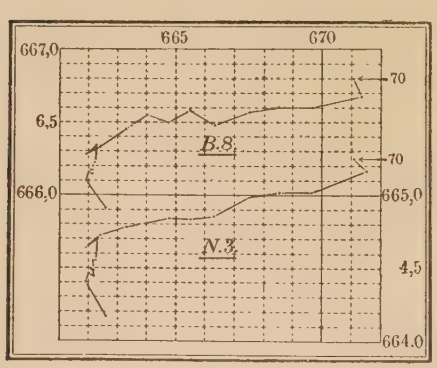

Fig. 10.

$\Delta F = -70$ mm $+20$ mm.

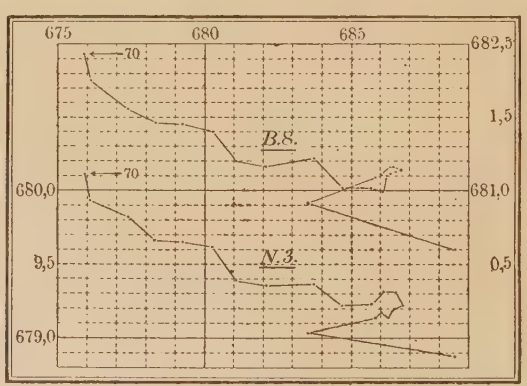

Fig. 11.

diese Nachwirkung fünf Minuten angedauert hat, ist in dem ersteren Fall (Tabelle XXIV) die Verdünnung um 10 mm mit dem Tempo 0,2 mm fortgesetzt, in dem anderen Fall (Tabelle XXV) dagegen der Druck in derselben Weise vermehrt, und

der Verlauf der Nachwirkung während dieser Zeit von fünf zu fünf Minuten beobachtet. Die aus diesen Reihen ebenso wie früher abgeleiteten Aneroidstände red. F_n^0, die bei constanter Stellung des Normalbarometers eingetreten sein würden, sind in den Figuren 10 und 11 als Ordinaten zu den Normalbarometerständen aufgetragen. Da die Herstellung der Coincidenz der Fühlhebelmarken am Goldschmid'schen Instrument bei einer Druckänderung von 0,2 mm pro Minute eine für den vorliegenden Fall zu grosse Unsicherheit zeigte, mussten die Ablesungen des Instrumentes eingestellt werden; die Mittheilung für dies Instrument beschränkt sich daher auf die später anzuführende Reihe.

Die Darstellung der Figuren 10 und 11 zeigt sofort, dass bei Druckänderung in dem Sinne der Nachwirkung die in gleichen Zeiten durchlaufenen Wege kleiner, bei Druckänderungen im entgegengesetzten Sinne grösser ausfallen. In der Zeit von der 5ten bis zur 55ten Minute ist im ersteren Fall der Weg im Mittel um 0,25 mm kleiner als im zweiten.

Tabelle XXVI.

$\Delta F = -70\text{ mm} - 3\text{ mm} + 7\text{ mm}$.

t_n	B_n^0	Mittlere Temper.	red. F_n^0		
			G. 5.	*B. 8.*	*N. 3.*
0	651,97	23,0	656,67	652,78	650,98
5	52,15		59	2,57	50,80
7	52,20		58	2,52	50,75
10	52,30		47	2,46	50,65
15	51,24		62	2,51	50,70
20	50,27		55	2,51	50,62
25	49,46		58	2,42	50,49
30	48,93		58	2,44	50,50
35	49,50		55	2,21	50,35
40	50,31		61	2,14	50,33
45	51,17		47	2,02	50,22
50	51,80		44	1,97	50,16
55	52,77		33	1,93	50,13
60	53,32		29	1,87	50,12
70	54,00		16	1,78	50,07
80	54,62		09	1,72	50,11
100	55,21		17	1,71	50,06
120	55,04		08	1,68	49,92
315	56,85		—	1,50	49,80
1010	56,16		03	1,20	49,39

Eine solche Verschiedenheit kann ihre Ursache nicht allein in einer Trägheit des Mechanismus haben, zumal dieselbe durch Beklopfen der Deckel möglichst beseitigt wurde, sondern sie muss vielmehr eine Folge der Druckänderung sein.

Die obenstehende Tabelle XXVI giebt den Verlauf einer Nachwirkung unter dem Einfluss wechselnder Druckschwankungen. Das die Nachwirkung hervorrufende Druckintervall ist wieder wie bei den vorhergehenden Reihen 70 mm mit dem Tempo 2,0 mm.

Zuerst ist der Druck 10 Minuten lang constant erhalten, die Nachwirkung verläuft in der gewöhnlichen Weise, dann ist in demselben Sinne in langsamem

Tempo 15 Minuten lang die Druckverminderung fortgesetzt, die Nachwirkung verzögert sofort ihre Geschwindigkeit, endlich (von der 30ten Minute an) ist eine Druckzunahme vorgenommen, die Nachwirkung nimmt sofort eine grössere Geschwindigkeit an, eine weit grössere als sie bei constantem Druck zu dieser Zeit ihres Verlaufes haben würde.

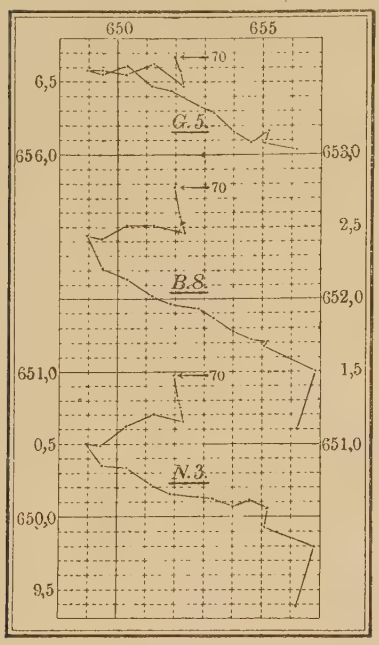

Fig. 12.

Figur 12 liefert eine graphische Darstellung dieses Verlaufes bei den drei Instrumenten *G. 5.*, *B. 8.* und *N. 3.* Die in den Tabellen XXIV bis XXVI mitgetheilten Reihen zeigen zunächst, wie stark die nicht zu vermeidenden kleinen Schwankungen die Nachwirkung beeinflussen und dementsprechend auch auf die Bestimmung der Constanten einwirken, so dass dieselben mit einiger Sicherheit nur aus den Mitteln einer grösseren Anzahl von Beobachtungsreihen, wie in dem vorliegenden Falle geschehen, abgeleitet werden können.

Eine Beeinflussung der Nachwirkungsbewegung durch Schwankungen der äusseren Ruhelage konnte nicht überraschen, da bei experimentellen Untersuchungen über die elastische Nachwirkung mehrfach auf die Abhängigkeit ihres Verlaufes von Bewegungen und Erschütterungen hingewiesen worden ist, und ferner Braun[1]) den Einfluss von elastischen Formänderungen auf eine vorhandene Nachwirkung direct untersucht und dabei eine Regelmässigkeit der Einwirkung gefunden hat.

Es wurde daher bei den Versuchen vor jeder Ablesung auf die Glasplatten der Kästen gleichmässig geklopft, um sowohl, wie bei der Ablesung von Aneroiden zur Beseitigung der Trägheit der Hebelübersetzung erforderlich ist, diese Fehler zu vermeiden, als auch um den Einfluss der Erschütterungen gleichmässig zu machen.

Es hat den Anschein, als ob die Einwirkung einer äusseren Kraft im Sinne der Nachwirkungsbewegung die Energie der dieselbe hervorrufenden Molecularbewegung abschwäche, eine Einwirkung im entgegengesetzten Sinn dieselbe verstärke. Diese Verzögerung der Nachwirkungsgeschwindigkeit giebt der, die Bewegung während des mit stetiger Geschwindigkeit durchlaufenen Druckintervalles darstellenden Curve eine andere Form. Die Abhängigkeit dieser Verzögerung vom Tempo würde durch Beobachtung einer bekannten Nachwirkung unter dem Einfluss von Druckänderungen mit verschiedener Geschwindigkeit zu ermitteln sein. Es ist jedoch vor der Hand von der Ausführung dieser Beobachtungen Abstand genommen, da die Erlangung eines brauchbaren Resultates ohne vorherige Kenntniss des Temperatureinflusses auf die Nachwirkung zweifelhaft erschien und ferner bei schnellerem Durchlaufen eines Intervalles die Ablesungen sehr unsicher werden.

Es erübrigt nur noch hervorzuheben, dass Unregelmässigkeiten in der Geschwindigkeit der Druckänderung direct auf den Verlauf der Nachwirkung und damit auf die Theilungslinie einwirken, so dass bei Ermittlung der Theilungs-

[1]) Pogg. Ann. 159 S. 389.

verbesserung eine möglichst stetige Druckvariation erstrebt werden muss, ferner dass bei einem Druckwechsel, also beim Uebergang von zunehmendem zu abnehmendem Druck oder umgekehrt, die Nachwirkungsbewegungen am Stärksten hervortreten, weit stärker als beim Uebergang von zu- oder abnehmendem Druck zu constantem.

10. Die Superposition.

Um festzustellen, in wie weit die von Kohlrausch[1]) zuerst beobachtete Erscheinung der Superposition sich beim Federbarometer verfolgen liesse, sind einige Versuche angestellt worden, von denen die folgende Tabelle XXVII eine Reihe für die Instrumente *G. 5.*, *B. 8.*, *R. 9.* und *N. 3.* enthält.

Tabelle XXVII.

$\Delta F = +100$ mm -20 mm.

t_n	B_n^0	Mittlere Temper.	red. F_n^0 *G. 5.*	*B. 8.*	*R. 9.*	*N. 3.*
0	756,37	24,0	748,92	747,16	745,55	743,62
5	6,24		8,97	7,29	5,68	3,75
10	6,10		9,04	7,43	5,66	3,89
15	5,99		8,98	7,51	5,70	3,97
20	5,90		8,98	7,58	5,79	4,04
30	736,37		9,04	7,91	6,04	4,39
35	6,23		9,03	7,80	5,98	4,40
40	6,11		8,95	7,77	5,97	4,45
45	6,03		8,94	7,83	5,95	4,50
50	6,01		8,89	7,82	5,91	4,42
55	5,92		8,96	7,85	5,93	4,36
60	5,84		9,00	7,82	5,94	4,39
70	5,71		9,03	7,77	5,94	4,45
80	5,72		9,00	7,81	5,96	4,46
100	5,79		9,03	7,84	5,99	4,44
150	5,49		9,06	7,81	5,99	4,31
180	5,36		8,95	7,82	5,99	4,37
950	4,85		9,15	7,93	6,13	4,48

Die erste Druckänderung betrug 100 mm mit dem Tempo 2,0 mm, der regelmässige Verlauf dieser Nachwirkung wurde 20 Minuten lang beobachtet, sodann eine Druckänderung von 20 mm wieder mit dem Tempo 2,0 mm im entgegengesetzten Sinne der ersten vorgenommen.

In Figur 13 ist der Verlauf der dadurch hervorgerufenen Nachwirkungsbewegungen dargestellt. Nach Mittheilung der zweiten Druckänderung wirkt bei den Instrumenten *G. 5.*, *B. 8.* und *R. 9.* zuerst diese zweite Deformation ein, bis schliesslich wieder die erste überwiegt, bei *N. 3.* läuft zunächst die erste Nachwirkung weiter, bis sie eine Zeit lang von der zweiten überholt wird und endlich wieder auftritt. Eine Eigenthümlichkeit für das Instrument ist dieser Verlauf übrigens nicht, die folgende Tabelle XXVIII enthält eine durch dieselben Deformationen hervorgebrachte Nachwirkung. Wie die Darstellung in Figur 14 zeigt,

[1]) Pogg. Ann. 158 S. 371.

ist der Vorgang analog dem der übrigen Instrumente im ersten Fall. Es wird überhaupt der durch mehrere sich superponirende Nachwirkungen bedingte Verlauf derselben nicht allein von den vorgenommenen Druckänderungen abhängen, sondern hauptsächlich auch von der Temperatur und den kleinen Schwankungen, die nach Einstellung

$\Delta F = +100$ mm $- 20$ mm.

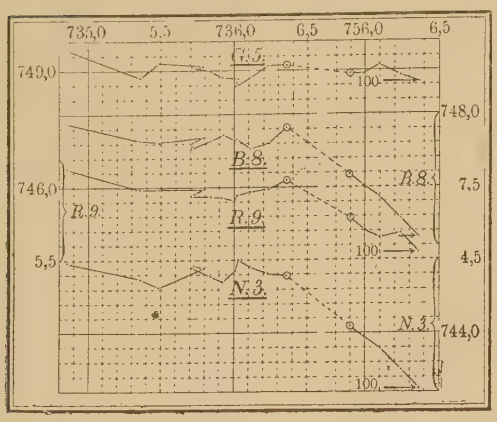

Fig. 13.

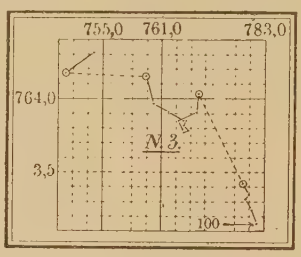

Fig. 14.

der Druckänderung noch eintreten. Bei der hier vorgenommenen Combination der Deformationen überwiegt in den meisten Fällen in der ersten Zeit die Nachwirkung

Tabelle XXVIII.

t_n	B_n^0	Mittlere Temperat.	*N. 3.* red. F_n^0
0	782,95	22,2	763,14
5	82,92		3,24
10	82,88		3,32
15	82,90		3,35
20	82,86		3,42
30	761,25		4,04
35	61,30		4,00
40	61,24		3,91
45	61,11		3,86
50	61,15		3,78
60	61,18		3,79
70	61,18		3,79
90	61,15		3,82
110	61,16		3,86
130	61,15		3,86
150	61,04		3,92
170	60,94		3,97
190	60,89		4,15
1070	54,75		4,17
1570	54,93		4,31

der letzten Formänderung. Ganz aufzuheben ist eine Nachwirkung durch eine ihr entgegengesetzte nicht, sondern es wird, wenn auch zeitweilig ein Stillstand der Bewegung eintritt, durch Temperatureinflüsse, Druckschwankungen und Erschütterungen der noch nicht verlaufene Rest wieder hervortreten und sich durch Schwankungen der scheinbar erreichten Ruhelage geltend machen.

11. Der Einfluss der Temperatur auf die Nachwirkung.

Bei dem bedeutenden Einfluss, den die Temperatur auf die elastische Nachwirkung ausübt[1]), war zu erwarten, dass derselbe sich in ähnlicher Weise beim Federbarometer zeigen würde. Da die Beobachtung der Wärmeeinwirkung auf Nachwirkungen von bekanntem Verlauf besonders geeignet erschien, einigen Aufschluss über die Art eines Temperatureinflusses auf die Aneroidangaben überhaupt zu erhalten, so waren in die Ergebnisse dieser Versuche besondere Hoffnungen zu setzen, zumal dieselben mit den von Hartl[2]) angestellten Beobachtungen über den Einfluss der Wärme auf die Elasticität der Spannfedern einer Vergleichung unterzogen werden konnten. Von vornherein war jedoch diesen Versuchen nur eine relative Bedeutung beizulegen, da bei den durch entsprechende Metallzusammensetzung des Hebelwerkes mehr oder weniger compensirten Instrumenten eine directe Beobachtung der Grösse der Einwirkung nicht möglich ist, sowie die Spannung der in der Büchse enthaltenen Luft nicht bekannt, ihre Veränderlichkeit mit der Temperatur aber nicht zu vernachlässigen ist. — Wie schon früher hervorgehoben wurde, war eine Abhängigkeit von der Temperatur der bei den verschiedenen beobachteten Wärmegraden (zwischen 15 und 25° C.) erhaltenen Nachwirkungen weder direct zu erkennen, noch von den anderen Einflüssen (Druckschwankungen) zu trennen, so dass dieselbe für die vorliegenden Beobachtungen ausser Betracht bleiben musste.

Die Versuche, eine bekannte Nachwirkung bei stärkeren Temperaturwechseln zu verfolgen, mussten als unausführbar aufgegeben werden, da die Instrumentthermometer diesen Wechseln nicht schnell genug folgten, ferner bei Beobachtungen der Nachwirkung in den abgeschlossenen Kästen die in Folge des Temperaturwechsels eintretenden starken Druckschwankungen erst durch die Instrumente selbst erkennbar wurden, bevor sie durch den Regulator beseitigt werden konnten, und endlich auch bei Beobachtung der Nachwirkung bei gewöhnlichem Luftdruck sich zeigte, dass die durch stärkere Temperaturwechsel entstehenden Aenderungen des Standes derart waren, dass dieselben nicht der Wärmeeinwirkung zugeschrieben werden mussten, sondern vielmehr dem Umstande, dass die durch den Temperaturwechsel während der Dauer der Abkühlung oder Erwärmung fortwährend entstehende Spannungsänderung der im Inneren des Instrumentraumes enthaltenen Luft, sich nicht schnell genug mit der äusseren Luft ausgleichen konnte, und somit eine andere Spannung im Innern des Instrumentes als im Zimmer stattfand. Es wurde daher vor der Hand von der Fortführung dieser Versuche Abstand genommen.

12. Schlussbemerkungen.

In Folge der verschiedenen die elastische Nachwirkung beeinflussenden äusseren Einwirkungen, wie Superposition, Temperatur und Druckschwankungen, wird dieselbe zu einem so complicirten Vorgange, dass es weder möglich noch zweckmässig sein dürfte, bei der praktischen Verwerthung des Aneroids und den regellos auf einander folgenden Druckschwankungen eine directe Correction mit Hilfe der ermittelten Constanten anzubringen. Dagegen sind aber die Einwirkungen der elastischen Nachwirkung auf die Angaben des Instrumentes so bedeutend, dass dieselbe nicht unberücksichtigt gelassen werden darf, wenn die volle Leistungsfähigkeit des Federbarometers ausgenutzt werden soll. Die Beobachtungen über

[1]) Kohlrausch. Pogg. Ann. 128 und 158. Schröder. Wied. Ann. Bd. 28. S. 369. — [2]) Hartl. Mittheil. d. k. k. militär. geogr. Inst. 1882 und 1885.

den Verlauf der Standverbesserung bei dem gewöhnlichen Luftdruck zeigen, dass die grössten Abweichungen in Folge der elastischen Nachwirkung entstehen, es lässt sich ihr Einfluss in nahezu allen Fällen erkennen. Druckunterschiede von 20 bis 40 mm oder rund Höhenunterschiede von 200 bis 400 m, von denen je 100 m in 50, 20 oder 10 Minuten (entsprechend dem Tempo 0,2, 0,5 oder 1,0 mm) zurückgelegt werden, rufen, wie aus den Tabellen XVII bis XX hervorgeht, in einer Stunde nach Einstellung der Druckänderung Nachwirkungen von 0,15 bis 0,33 mm hervor. Nach Durchlaufen eines Druckunterschiedes von 20 mm mit dem Tempo 0,2, 0,5 und 1,0 mm sind die Abstände von der Ruhelage, also die Constanten C nach Tabelle XXII: 0,29, 0,35 bezw. 0,42 mm.

Nach dem näherungsweise abgeleiteten Ausdruck für die Abhängigkeit der Constanten C vom Druckunterschied und Tempo (Abschnitt 7) ergiebt sich bei der in der Tabelle I dargestellten, bei den gewöhnlichen Luftdruckschwankungen entstandenen Nachwirkung der Werth für C zu 0,37 mm in Uebereinstimmung mit dem thatsächlich eingetretenen Sprung. Alles dies führt zu dem Schlusse, dass die durch die elastische Nachwirkung entstehenden Abweichungen nicht in das Gebiet der zufälligen Fehler gehören, sondern dass ihr Einfluss systematisch berücksichtigt werden muss.

Wie schon bemerkt, würde es weder möglich noch zweckmässig sein, eine allen Anforderungen der Praxis entsprechende Correction rechnerisch mit Hilfe der ermittelten Constanten abzuleiten, sondern es würde vielmehr eine auf empirischem Wege ermittelte Verbesserung den Vorzug verdienen, die, um den Verlauf der die Nachwirkung verursachenden Druckschwankungen bequem verfolgen zu können, an den graphisch aufgetragenen Beobachtungen anzubringen sein würde. Ich beabsichtige, in einer späteren Arbeit hierauf zurückzukommen, um den Versuch zu machen, die gefundenen Resultate an der Hand weiteren Beobachtungsmateriales zu verwerthen.

Die Anbringung einer solchen Verbesserung für die elastische Nachwirkung würde besonders bei den Angaben der Stationsbarometer, welche die jeweilig stattfindenden kleineren oder grösseren Schwankungen des Luftdruckes anzugeben haben, nicht zu umgehen sein. In allen Fällen jedoch, in denen es möglich ist, in anderer Weise die Beobachtungen von dem Einfluss der Nachwirkung zu befreien, muss dieser Weg vorgezogen werden. Eine solche Elimination ist aber in einfacher Weise möglich, sowohl bei der Bestimmung der Instrument-Constanten als auch innerhalb gewisser Grenzen bei der Höhenmessung.

Die Ermittlung der Theilungs-Verbesserung bei den gewöhnlichen Druckschwankungen der Athmosphäre ist ihrer Natur nach grösseren Zufälligkeiten ausgesetzt, als eine solche bei künstlicher Druckänderung, aber bei entsprechender Anordnung ist dieselbe sehr wohl geeignet, brauchbare Resultate zu geben. Grössere, gleichmässig einige Tage lang fortschreitende Druckänderungen kommen im Winter oft genug vor, so dass es sich nur darum handelt, dieselben zu benutzen, und während der Dauer einer solchen Druckänderung möglichst oft Vergleichungen vorzunehmen, um den Gang der Druckschwankung mit der Zeit feststellen zu können. Eine graphische Darstellung solcher Vergleichungen wird den Verlauf der Theilungs-Verbesserung mit entsprechender Sicherheit verfolgen und die Einflüsse der elastischen Nachwirkung vermeiden lassen, indem nur die bei fortschreitender Druckänderung erhaltenen Linienzüge zur Bestimmung herangezogen werden. In ähnlicher Weise ist bei Ermittlung der Temperatur-Verbesserung zu verfahren.

Weit sichrere Resultate werden natürlicherweise Vergleichungen bei künstlicher Druckänderung ergeben, da es dabei leichter ist, die Temperatur möglichst constant zu halten und den Gang der Druckänderung bei geeignet construirten Versuchsapparaten vollständig zu reguliren, so dass auch der Einfluss der während der Druckänderung auftretenden und, wie früher näher besprochen, mit dem Tempo veränderlichen Nachwirkung in Rücksicht gezogen werden kann. Es wird sich empfehlen, die Druckänderung von verschiedenen Anfangspunkten aus mit mehreren verschiedenen Geschwindigkeiten (etwa zwischen den Grenzen 20, mm bis höchstens 1,0 mm pro Minute) vorzunehmen, die damit erhaltenen Theilungslinien in ähnlicher Weise wie in Figur 8 aufzutragen und für jeden einzelnen Fall die für die entsprechende Stelle der Scale giltige Verbesserung aus der mit Unterabtheilungen zu versehenden graphischen Darstellung sofort zu entnehmen.

Um den Einfluss der elastischen Nachwirkung bei der Ausführung von Höhenmessungen zu eliminiren, muss bei der Aufnahme nach einem bestimmten Princip verfahren werden. Die angestellten Beobachtungen haben gezeigt, dass der Verlauf derselben am regelmässigsten und am sichersten zu verfolgen ist, wenn der Druck constant bleibt, oder eine Druckänderung in gleichem Sinne stetig fortschreitet, und dass ein Wechsel sofort eine Aenderung im Verlauf der Nachwirkungsbewegung hervorruft. Dementsprechend ist bei der Höhenmessung entweder möglichst in der Horizontalen oder in Profilen zu arbeiten, besonders aber sind Druckwechsel zu vermeiden, und dieselben nach Möglichkeit auf Anschlusspunkte zu verlegen. Vor allen Dingen ist wesentlich, dass man sich über die bei der gerade vorliegenden Terraingestaltung zu erwartenden Druckdifferenzen und die damit zusammenhängenden Nachwirkungen eine Vorstellung machen kann, um danach das Messungsverfahren anzuordnen. Bei Innehaltung dieser zur Elimination der elastischen Nachwirkung aufgestellten Gesichtspunkte werden nach irgend einem der drei hauptsächlichsten Verfahren, sei es nun Interpolation nach der Zeit und der Höhe bei gegebenen Fixpunkten, oder Interpolation nach der Zeit durch Rückkehr auf vorher besuchte Punkte, oder endlich Reduction auf ein Standbarometer, mit guten Instrumenten Resultate erhalten werden, die nicht wesentlich hinter der bei dem Princip der barometrischen Höhenmessung überhaupt zu erreichenden Genauigkeit zurückbleiben.

Es muss jedoch erstrebt werden, die Zuverlässigkeit der Instrumentangaben soweit zu steigern, dass sie diese überhaupt mögliche Sicherheit vollständig auszunutzen gestatten. Bei genauer Kenntniss der durch die Nachwirkung und Temperatureinflüsse entstehenden Eigenbewegungen des elastischen Federsystems wird es möglich sein, bei geeigneter Construction[1]) aus dem Aneroid auch für das Laboratorium ein Differentialinstrument auszubilden, das fähig ist, für kürzere Zeiträume kleine Spannungsänderungen sicher und zuverlässig anzugeben.

Poppelsdorf, Landwirthschaftliche Akademie. December 1886.

---

[1]) Kohlrausch. Ueber ein Variationsbarometer. Pogg. Ann. 150. — Röntgen. Ueber ein Aneroidbarometer mit Spiegelablesung. Wied. Ann. 4. S. 305.